САОБРАЋАЈНИ ИНСТИТУТ ЦИП д.о.о.
11000 БЕОГРАД, НЕМАЊИНА 6/IV
тел: 011/3618-134, факс: 011/3618-324, web site: www.sicip.co.rs

## 1.1. НАСЛОВНА СТРАНА

| | |
|---|---|
| | **Е01/1-4.1 ГЕОТЕХНИЧКИ ЕЛАБОРАТ** |
| Инвеститор: | Инфраструктура железнице Србије, Немањина 6/IV,Београд |
| Објекат: | Модернизација, реконструкција и изградња пруге Београд - Суботица државна граница (Келебија), деоница пруге Нови Сад - Суботица - државна граница (Келебија), у Новом Саду, Кисачу, Степановићеву, Змајеву, Врбасу, Ловћенцу, Малом Иђошу, Бачкој Тополи, Жеднику, Наумовићеву и Суботици, К.О. Нови Сад I, К.О. Нови Сад IV, К.О. Кисач,, К.О. Руменка, К.О. Степановићево, К.О. Ченеј, К.О. Бачко Добро Поље, К.О. Врбас, К.О. Врбас - град, К.О. Змајево, К.О. Куцура, К.О. Ловћенац, К.О. Мали Иђош, К.О. Фекетић, К.О. Бачка Топола, К.О. Бачка Топола - Град, К.О. Мали Београд, К.О. Биково, К.О. Доњи Град, К.О. Жедник, К.О. Нови Град, К.О. Палић, К.О. Стари Град, на катастарским парцелама према списку приложеном у Главној свесци |
| Врста техничке документације: | ИДП Идејни пројекат |
| Назив и ознака дела пројекта: | Е01/1-4.1 ГЕОТЕХНИЧКИ ЕЛАБОРАТ - ГЕОТЕХНИЧКИ УСЛОВИ ИЗГРАДЊЕ ЗА ТРАСУ, деоница: Наумовићево - Суботица - државна граница |
| За грађење / извођење радова: | Нова градња и реконструкција |
| Пројектант: | Саобраћајни институт ЦИП д.о.о.<br>Београд, Немањина 6/ IV<br>351-02-02009/2017-07 |
| Одговорно лице пројектанта: | Генерални директор: Милутин Игњатовић, дипл.инж |
| Потпис | Milutin Ignjatović 226692666-01049437 10139<br>Digitally signed by Milutin Ignjatović 226692666-01049437 10139 Date: 2020.05.22 08:55:23 +02'00' |
| Овлашћено лице | Иван Стефановић, дипл.инж.геол |
| Број лиценце | 391 N945 15 |
| Потпис | Ivan Stefanović 248026886-2807983760056<br>Digitally signed by Ivan Stefanović 248026886-2807983760056 Date: 2020.05.20 11:23:23 +02'00' |
| Број техничке документације: | 2017-728-ГЕО-1/1-4.1 |
| Место и датум: | Београд, мај 2020. |

## 1.2. САДРЖАЈ


| | |
|---|---|
| 1.1. | Насловна страна |
| 1.2. | Садржај |
| 1.3. | Решење о одређивању овлашћеног лица |
| 1.4. | Изјава овлашћеног лица |
| 1.5. | Текстуална документација |
| 1.6. | Графичка документација |

## 1.3. РЕШЕЊЕ О ОДРЕЂИВАЊУ ОВЛАШЋЕНОГ ЛИЦА

На основу члана 128 Закона о планирању и изградњи ("Службени гласник РС", бр. 72/09, 81/09 - исправка, 64/10 - УС, 24/11, 121/12, 42/13 - УС, 50/2013 - УС, 98/2013 - УС, 132/14, 145/14, 83/2018, 31/2019 и 37/2019 -др.закон) и одредби Правилника о садржини, начину и поступку израде и начину вршења контроле техничке документације према класи и намени објеката ("Службени гласник РС" бр 73/2019) као:

**О В Л А Ш Ћ Е Н О Л И Ц Е**

за израду Геотехничког елабората - геотехнички услови изградње за трасу, деоница: Наумовићево - Суботица - државна граница, који је део ИДП - Идејног пројекта Модернизација, реконструкција и изградња пруге Београд - Суботица државна граница (Келебија), деоница пруге Нови Сад - Суботица - државна граница (Келебија), у Новом Саду, Кисачу, Степановићеву, Змајеву, Врбасу, Ловћенцу, Мали Иђошу, Бачкој Тополи, Жеднику, Наумовићеву и Суботици, К.О. Нови Сад I, К.О. Нови Сад IV, К.О. Кисач,, К.О. Руменка, К.О. Степановићево, К.О. Ченеј, К.О. Бачко Добро Поље, К.О. Врбас, К.О. Врбас - град, К.О. Змајево, К.О. Куцура, К.О. Ловћенац, К.О. Мали Иђош, К.О. Фекетић, К.О. Бачка Топола, К.О. Бачка Топола - Град, К.О. Мали Београд, К.О. Биково, К.О. Доњи Град, К.О. Жедник, К.О. Нови Град, К.О. Палић, К.О. Стари Град, одређује се:

Иван Стефановић, дипл.инж.геол. 391 N945 15

| | |
|---|---|
| Пројектант: | САОБРАЋАЈНИ ИНСТИТУТ ЦИП д.о.о,<br>Београд Немањина 6/IV<br>351-02-02009/2017-07 |
| Одговорно лице/заступник: | Генерални директор: Милутин Игњатовић, дипл.инж. |
| Потпис: | |
| Број техничке документације: | 2017-728-ГЕО-1/1-4.1 |
| Место и датум: | Београд, мај 2020. |

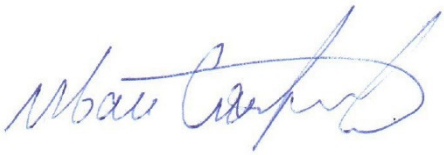
## 1.4. ИЗЈАВА ОВЛАШЋЕНОГ ЛИЦА

Овлашћено лице Геотехничког елабората - геотехнички услови изградње за трасу, деоница: Наумовићево - Суботица - државна граница, који је део ИДП - Идејног пројекта Модернизација, реконструкција и изградња пруге Београд - Суботица државна граница (Келебија), деоница пруге Нови Сад - Суботица - државна граница (Келебија), у Новом Саду, Кисачу, Степановићеву, Змајеву, Врбасу, Ловћенцу, Мали Иђошу, Бачкој Тополи, Жеднику, Наумовићеву и Суботици, К.О. Нови Сад I, К.О. Нови Сад IV, К.О. Кисач, К.О. Руменка, К.О. Степановићево, К.О. Ченеј, К.О. Бачко Добро Поље, К.О. Врбас, К.О. Врбас - град, К.О. Змајево, К.О. Куцура, К.О. Ловћенац, К.О. Мали Иђош, К.О. Фекетић, К.О. Бачка Топола, К.О. Бачка Топола - Град, К.О. Мали Београд, К.О. Биково, К.О. Доњи Град, К.О. Жедник, К.О. Нови Град, К.О. Палић, К.О. Стари Град)

Иван Стефановић, дипл.инж.геол.

**И З Ј А В Љ У Ј Е М**

1. да је Елаборат у складу са Законом о рударству и геолошким истраживањима (Сл. гласник РС бр. 101/15), Правилнику о садржини пројекта геолошких истраживања и елабората о резултатима геолошких истраживања и Правилника о потребном степену изучености инжењерскогеолошких својстава терена за потребе планирања, пројектовања и грађења (Сл. гласник РС бр. 51/96)
2. да је Елаборат израђен у складу са Законом о планирању и изградњи, прописима, стандардима и нормативима из области изградње објеката и правилима струке;
3. да су при изради Елабората поштоване све прописане и утврђене мере и препоруке за испуњење основних захтева за објекат и да је пројекат израђен у складу са мерама и препорукама којима се доказује испуњеност основних захтева.

| | |
|---|---|
| Овлашћено лице: | Иван Стефановић, дипл.инж.геол. |
| Број лиценце: | 391 N945 15 |
| Потпис: |  |
| Број дела пројекта: | 2017-728-ГЕО-1/1-4.1 |
| Место и датум: | Београд, мај 2020. |

# 1.5. ТЕКСТУАЛНА ДОКУМЕНТАЦИЈА

# САДРЖАЈ:

1 УВОД ....1
2 ПРОЈЕКТНИ ЗАДАТАК ....2
3 ОПШТИ ПОДАЦИ О ИСТРАЖНОМ ПРОСТОРУ ....3
4 ВРСТА И ОБИМ И ИЗВЕДЕНИХ ИСТРАЖИВАЊА И ИСПИТИВАЊА ....5
4.1 Претходно изведени истражни радови ....5
4.2 Допунски истражни радови ....6
4.2.1 Инжењерскогеолошко картирање терена дуж новопројектоване трасе ....6
4.2.2 Извођење истражних раскопа у трупу пруге ....6
4.2.3 Извођење истражних јама дуж новопројектоване трасе ....7
4.2.4 Истражно бушење са инжењерскогеолошким картирањем језгра, ....8
4.2.5 Извођење опита стандардне динамичке пенетрације - SPT ....9
4.2.6 Лабораторијска геомеханичка испитивања, ....9
5 РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ИСПИТИВАЊА ....11
5.1 Геоморфолошка својства ....11
5.2 Геолошка грађа терена ....12
5.3 Хидрогеолошка својства терена ....14
5.4 Геотехничка својства терена и трупа пруге ....16
5.4.1 Геотехничка својства издвојених јединица терена за новопројектовану трасу ....16
5.4.2 Геотехничка својства издвојених јединица у оквиру трупа постојеће пруге ....23
5.5 Савремени геолошки процеси и појаве ....26
5.6 Сеизмичка својства терена ....27
6 ГЕОТЕХНИЧКИ УСЛОВИ ИЗГРАДЊЕ ПРУГЕ ....28
6.1 Преглед геотехничких услова терена ....28
6.2 Вредновање материјала у нивоу подлоге прелазног слоја - постељице ....29
6.3 Препоруке за изградњу и реконструкцију пруге ....30
6.3.1 Припрема темељног тла ....32
6.3.2 Израда насипа ....33
6.3.3 Израда прелазног слоја ....35
6.3.4 Израда заштитног слоја ....35
6.3.5 Израда усека ....37
6.3.6 Геостатички прорачуни ....37
7 ЗАКЉУЧАК ....39

СПИСАК ПРИЛОГА

| ПРИЛОГ БР. | НАЗИВ |
|---|---|
| 1. | Инжењерскогеолошка карта са положајем истражних радова |
| 2. | Подужни геотехнички пресек |
| 3. | Попречни геотехнички пресеци |
| 4. | Геостатички прорачуни |

# 1 УВОД

На основу уговора који је склопљен са Инвеститором, Саобраћајни институт ЦИП - Завод за геотехнику, преузео је обавезу да уради Геотехнички елаборат за Идејни пројекат за изградњу железничке пруге Београд - Суботица - Државна граница (Келебија), деоница Нови Сад - Суботица - Државна граница (Келебија). Ова пруга представља део традиционалног железничког транзитног коридора за везу Западне и Централне Европе са Грчком, Турском и Блиским Истоком.

Постојећа пруга Београд - Будимпешта је једноколосечна, дужине 350 km. Деоница Нови Сад – Суботица, је од км 76+501 – 183+921. Пруга се пројектује за брзине од 200 km/h и биће двоколосечна, укупне дужине око 108 километара.

Пруга се укршта са већим бројем магистралних, локалних и атарских путева, као и природних и вештачких водотокова. Сва укрштања ће бити изведени као денивелисана. Пројектом је предвиђен већи број пратећих инфраструктурних објеката (мостови, подвожњаци, надвожњаци, подходници и пропусти) као и објекти високоградње (станичне зграде и припадајући објекти). Геотехнички услови изградње ових објеката дати су у посебном елаборату: *Е1/2 Геотехнички елаборат – Геотехнички услови изградње објеката*.

Осврт на потенцијална позајмишта материјала за изградњу дат је у оквиру посебног елабората*: Е1/3 Геотехнички елаборат – Позајмишта материјала*.

Истражни простор на коме се предвиђа изградња пруге је непосредно уз постојећу пругу, а само местимично се удаљава од ње, осим на делу обиласка око Врбаса, где иста пролази вијадуктом дужине 1800m. Елаборат је урађен за трасу која је подељена на деонице:

- Деоница 1: Нови Сад - Руменка (Услови изградње и документациона књига)
- Деоница 2: Руменка - Врбас (Услови изградње и документациона књига)
- Деоница 3: Врбас - Наумовићево (Услови изградње и документациона књига)
- **Деоница 4: Наумовићево – Суботица - државна граница (Услови изградње и документациона књига)**

У текстуалном делу анализирани су резултати теренских истраживања и дат је коментар лабораторијских испитивања узорака тла. У оквиру посебног поглавља приказани су геотехнички услови изградње.

У оквиру графичке документације приказани су на ситуационом плану изведени истражни радови и резултати инжењерскогеолошког картирања терена, на пресецима су приказане инжењерскогеолошке јединице, а резултати теренских и лабораторијских истраживања приказани су у виду картитаних профила и записника.

Геотехнички елаборат урађен је према:

- Закону о Рударству и геолошким истраживањима (Сл. гласник РС бр. 101/2015),
- Правилнику о садржини пројеката геолошких истраживања и елабората о резултатима геолошких истраживања (сл. Гласник РС бр.51/96),
- Правилнику о потребном степену изучености инжењерскогеолошких својстава терена за потребе планирања, пројектовања и грађења (сл. Гласник РС бр.51/96),
- Правилник о садржини документације која се односи на хидрогеолошке и инжењерско -геолошке подлоге за изградњу високих брана, хидроелектрана, термоелектрана и објеката саобраћајне инфраструктуре (сл. Гласник РС бр.51/96),
- Пратећим позитивним законским прописима, нормативима и акатма.

## 2 ПРОЈЕКТНИ ЗАДАТАК

У овомо поглављу дат је извод из пројектног задатка Инвеститора.

За потребе израде пројекта грађевинских објеката неопходно је извршити додатна детаљна инжењерскогеолошка и геотехничка истраживања и испитивања у складу са Законом о рударству и геолошким истраживањима (сл. гл. РС бр 101/2015), а у циљу добијања детаљних и поузданих геотехничких услова и параметара за:

- геолошку грађу, инжењерскогеолошка и хидрогеолошке својства терена, савремене геодинамичке процесе и појаве (нестабилне и потенцијално нестабилне делове терена, клизишта, јаружења, интензивна спирања, зоне слабе носивости тла), као и утврдити стање постојећег трупа пруге.
- фундирање објеката (мостови, вијадукти, подвожњаци, пропусти, надвожњаци, зграде), а према важећој законској регулативи (Eurocode 7, EN 1997-2, као и Правилник о техничким нормативима за темељење грађевинских објеката („Сл. Лист СФРЈ", бр 15/90) донет на основу члана 81. Закона о стандардизацији "Сл. Лист сФРЈ", бр. 37/88),
- конструкцију и нагибе косина трупа пруге
- резерве и својства материјала потенцијалних позајмишта.

# 3 ОПШТИ ПОДАЦИ О ИСТРАЖНОМ ПРОСТОРУ

У морфолошком смислу истражни простор (слика 3.1) припада Панонској низији, то јест Бачкој равници. У оквиру ове равнице могу се издвојити следеће геоморфолошке формације:

- Алувијон Дунава
- „Варошка тераса“
- „Телечка лесна зараван“
- „Суботичко Хоргошка пешчара“

*Слика 3-1:Ситуација – Траса деонице будуће пруге Нови Сад - Суботица*

Траса пруге прелази преко терена који пресеца неколико водених токова и већи број канала. Као значајнији водотоци су: Јегричка, Криваја и Чикер, док су значајнији канали: Канал ДТД, Велики канал и Мали канал.

У непосредној близини трасе пруге налазе се два језера: Палићко и Ладочко.

Постојећа хидрографска мрежа у коридору пруге је доста развијена, и у оквиру ње су природни водотоци, као и мелиоративни канали у надлежности ЈВП "Воде Војводине".

Потенцијал површинских вода у истраживаном коридору пруге чине: река Дунав, канал ДТД, Велики канал, Угриновачки канал, Мали канал, Руменички канала, Дубоки канал, канал Јегричка, река Бегеј, Криваја, Чикер и низ потока и мањих канала.

Наведени водотоци припадају сливу реке Дунав (Црноморски слив) и каналској мрежи хидросистема Дунав-Тиса-Дунав. На основу уредбе о категоризацији водотока ("Службени гласник СРС" бр.5/68) река Дунав (од мађарске до бугарске границе) припада II класи

водотока. Каналска мрежа Дунав-Тиса-Дунав припада II класи водотока. Класа II обухвата воде које су подесне за купање, рекреацију и спортове на води, за гајење мање племенитих риба, као и воде које се уз нормалне методе обраде (коагулација, филтрација и дезинфекција) могу употребљавати за снабдевање насеља водом за пиће, за купање и у прехрамбеној индустрији.

Увид у постојећи квалитет подземних вода извршен је на основу лабораторијских анализа које су рађене за потребе одређивања квалитета водоснабдевања у објектима Јавног предузећа "Железнице Србије", Саобраћајни институт ЦИП, Београд 2007-2009. год. Узорци воде су узети већином из копаних бунара железничких станица: Наумовићево, Мали Иђош Поље, - хемијске анализе показале су повишен садржај нитрата, нитрита, амонијака, као и гвожђа и мангана који вероватно одговара саставу земљишта. Микробиолошки налази указују да долази до мешања подземних вода са санитарном водом. За очекивање је да на подручју Војводине ове воде покажу и повишен садржај арсена, водоник сулфида, метана, угљен диоксида и органских растворених материја. Са здравственог аспекта употреба ових вода за пиће се не препоручује без опсежних мера технолошког пречишћавања и дезинфекције.

Што се тиче климатских прилика овај простор је под утицајем континенталне климе појачане продорима ваздушних струја са Карпата и из Влашке низије кроз Ђердап, као и са југозапада и запада. Сматра се да је клима на простору Војводине умерено континентална, са постојањем сва четри годишња доба. Средње годишње вредности температуре су доста уједначене и најчешће се крећу око 11°C. Средње минималне температуре су углавном у јануару и износе нешто испод 0°C, а средње максималне су у јуну, јулу и августу и износе око 20°C. Годишња амплитуда колебања температуре ваздуха је 22.7°C. Средња температура ваздуха у вегетацијском приоду је 17.9°C. Градијент средње годишње температуре расте од северозапада (Палић, са 10.7°C) ка југоистоку (Вршац, са 11.7°C и изузетком на простору Фрушке Горе, где износи10°C). Просечан број дана са мразом је 87.9 дана.

Од свих климатских елемената падавине представљају најважнији фактор који утиче на режим подземних вода и инжењерскогеолошке особине терена. У Војводини влада подунавски падавински режим (плувиометријски режим) који је модификован тако да се секундарни максимуми јављају у децембру, а не у октобру, а минимуми у марту а не у јануару или фебруару. Средње годишње падавине крећу се у распону од 600-700 mm за највећи део Војводине (односно износи 611 mm). У марту и октобру месецу је најмања средња количина падавина (од 41 mm у Панчеву до 27 mm на Палићу). Југоисточни Банат имају највећу средњу количину падавина.

Природна вегетација припада углавном земљастим биљним врстама сувљих и топлих терена (ливада и пешчара). Низијски део одликује се обрадивим површинама, затим обалским шибљем и барским биљем. Ниже падине Фрушке Горе обрађене су претежно виноградима, док се у вишљим деловима налази крупна шумска вегетација.

Захваљујући квалитетном обрадивом земљишту истражно подручје је релативно густо насељено. Већа насељена места на простору су: град Нови Сад, затим Кисач, Степановићево, Змајево, град Врбас, Мали Иђош, Бачка Топола, Жедник, Александрово и на крајњем северу град Суботица.

Терен је повезан ауто путом Суботица – Београд, државним магистралним путем првог реда Нови Сад – Суботица, већим бројем локалних асфалтираних путева, Поред ове мреже постоји и знатан број атарских и међумесних путева.

На овом делу трасе пруге постоје попречне железничке везе: Нови Сад – Сомбор, Нови Сад – Римски шанчеви, Врбас – Сомбор, Суботица - Хоргош - државна граница са Мађарском, Суботица – Сомбор, као и неколико бивших пруга које су укинуте, а колосек им је демонтиран.

# 4 ВРСТА И ОБИМ И ИЗВЕДЕНИХ ИСТРАЖИВАЊА И ИСПИТИВАЊА

## 4.1 Претходно изведени истражни радови

У циљу утврђивања степена истражености терена на предметном потезу, извршена је анализа резултата истраживања која су изведена како на самој предметној локацији, тако и у њеној ближој околини. Анализом резултата постојећих истраживања утврђено је да је предметна локација била предмет истраживања за потребе израде планске документације за различите нивое пројектовања и за различите садржаје.

При изради овог Елабората коришћена је геолошко – геотехничка документација (табела 4.1) којом је урађено вредновање терена као радне средине, при чему треба узети у обзир временску дистанцу израде планске докуметације.

За потребе израде овог Елабората извршена је делимична реинтерпретација постојећих података. Резултати поменутих истраживања су приказани у оквиру следеће планске документације.

*Табела 4.1.1: Списак коришћене документације*

| Редни број | Назив документације | Година |
|---|---|---|
| 1 | Пруге за велике брзине Суботица-Београд-Ниш-Димитровград, деоница I Београд-Суботица (Саобраћајни институт ЦИП) | 1996 |
| 2 | Студија изводљивости модернизације пруге Београд-Суботица-државна граница (Келебија)", Књига 3 : Студија о процени утицаја на животну средину, (Саобраћајни институт ЦИП). | 2015 |
| 3 | Геотехнички елаборат за потребе модернизације железничке пруге Нови Сад - Суботица - граница са Мађарском – ниво Идејног пројекта (Luise Berger / Институт ИМС) | 2016 |
| 4 | Студија геотехничких услова за ниво "Просторног плана подручја посебне намене инфраструктурног коридора железничке пруге Београд-Суботица-државна граница (Келебија)", (Саобраћајни институт ЦИП) | 2015/2016. |

## 4.2 Допунски истражни радови

Допунски истражни радови изведени у периоду октобар - децембар 2017. год и обухватали су:

- инжењерскогеолошко картирање терена дуж новопројектоване трасе
- извођење истражних раскопа у трупу постојеће пруге
- извођење истражних јама дуж новопројектоване трасе
- истражно бушење са инжењерскогеолошким картирањем језгра,
- извођење опита стандардне динамичке пенетрације - SPT
- лабораторијска геомеханичка испитивања

### 4.2.1 Инжењерскогеолошко картирање терена дуж новопројектоване трасе

У простору геодетски снимљене ситуације терена – размере 1:1000, зона од 100 m лево и десно од осе у дужини од око 108 km, изведено је детаљно инжењерскогеолошко картирање терена.

Визуелно су утврђивани састав и својства терена, као и процена дебљина површинских покривача. Основни подаци о старосним одредбама, као и о регионалној геолошкој грађи и текстурно структурним својствима, преузети су из података са основне геолошке карте 1 : 100.000 листови Нови Сад, Србобран, Бачка Топола и Суботица.

Хидрогеолошке појаве, извори, забарења, повремени и стални токови воде уцртавани су на карту у току картирања терена, па тиме карта садржи и те аспекте теренских појава. Насути материјали издвојени су у зони инфраструктурних објеката.

У току извођења истражних радова, инжењерскогеолошка карта је коригована и са подацима истражних радова.

Урађена инжењерскогеолошко карта са детаљима истраживања претставља основни инжењерскогеолошки и геотехнички модел за даље анализе.

Укупно је изведено детаљно геотехничко картирање терена на површини терена од око 22 $km^2$, а детаљи картирања терена приказани су у Прилогу 1 – Инжењерскогеолошка карта са положајем истражних радова.

### 4.2.2 Извођење истражних раскопа у трупу пруге

Истражни раскопи изведени су у циљу утврђивања конструкције пруге и стања материјала у конструкцији трупа и плануму тла тј. дебљине туцаничке призме, присуства дебљине и запрљаности тампона, врсте материјала у плануму тла и њихових физичко- механичких својстава. Истражни раскопи у трупу пруке носе називе **Rtp.**

Обзиром на неопходност нормалног и пре свега безбедног одвијања саобраћаја у време извођења истражних радова, али и због безбедности људи који су учествовали у извођењу истражних раскопа, није вршено класично "шлицање" колосека. Раскопавање је изведено са спољашње стране колосека, а од шине. Констатоване дебљине туцаника и тампона, не морају бити и највеће, јер оваквим начином раскопавања нема могућности за утврђивањем туцаничких и шљунчаних врећа.

Растојење између раскопа износи просечно један километар (1 km). Сви раскопи су копани ручно. Мерење приликом картирања раскопа изведено је од горње ивице шина (ГИШ-а). Дубина истражних раскопа била је диктирана постојећом конструкцијом пруге и била је довољна да омогући узимање довољне количине материјала из трупа пруге за узорак, за потребна лабораторијска испитивања.

Укупно је изведено 108, а за ову деоницу 18 истражна раскопа. У табели 4.2.2.1. дате су ознаке истражних раскопа са положајем. Распоред истражних раскопа приказан је у

Прилогу 1 – Инжењерскогеолошка карта са положајем истражних радова и Прилогу 2 – Подужни геотехнички пресек.

*Табела 4.2.2.1:* Распоред изведених раскопа у трупу пруге

| Ознака раскопа | Стационажа (km) | Координате (X/Y) | |
|---|---|---|---|
| Rtp-91 | 167+000 | 7398306 | 5098354 |
| Rtp-92 | 168+000 | 7398424 | 5099345 |
| Rtp-93 | 169+000 | 7398548 | 5100338 |
| Rtp-94 | 170+000 | 7398671 | 5101331 |
| Rtp-95 | 171+000 | 7398794 | 5102324 |
| Rtp-96 | 172+000 | 7398918 | 5103316 |
| Rtp-97 | 173+000 | 7399041 | 5104308 |
| Rtp-98 | 174+000 | 7399069 | 5105301 |
| Rtp-99 | 175+000 | 7398541 | 5106132 |
| Rtp-100 | 176+000 | 7397839 | 5106810 |
| Rtp-101 | 177+000 | 7397554 | 5107783 |
| Rtp-102 | 178+000 | 7397253 | 5108738 |
| Rtp-103 | 179+000 | 7396957 | 5109693 |
| Rtp-104 | 180+000 | 7396662 | 5110648 |
| Rtp-105 | 181+000 | 7396366 | 5111604 |
| Rtp-106 | 182+000 | 7396033 | 5112544 |
| Rtp-107 | 183+000 | 7395542 | 5113414 |
| Rtp-108 | 184+000 | 7395049 | 5114286 |

**Стационажа је дата по постојећим ознакама на траси пруге Нови Сад - Суботица*

### 4.2.3 Извођење истражних јама дуж новопројектоване трасе

За потребе пројектовања новог колосека, по новопројектованој оси пруге, изведено је 50, а за ову деоницу 10 истражних јама. Истражне јаме носе ознаку **Rt**. Из ових јама су узети поремећени узорци за лабораторијска геомеханичка испитивања. Геолошким картирањем и лабораторијским испитивањем одређена су главна физичко-механичка својства материјала у истражним јамама. У табели 4.2.3.1 дате су ознаке истражних јама са положајем.

Записник картираних јама приказан је у документационој књизи *E01/1-4.2 Геотехнички елаборат - документациона књига за трасу, деоница: Наумовићево - Суботица - државна граница.*

Распоред истражних јама приказан је у Прилогу 1 – Инжењерскогеолошка карта са положајем истражних радова и Прилогу 2 – Подужни геотехнички пресек.

*Табела 4.2.3.1: Распоред изведених истражних јама*

| Ознака јаме | Координате (X/Y) | | Кота (m) |
|---|---|---|---|
| Rt-45 | 7398394 | 5099124 | 109.2 |
| Rt-46 | 7398572 | 5100604 | 108.6 |
| Rt-47 | 7398769 | 5102129 | 110.9 |
| Rt-48 | 7398941 | 5103534 | 109.6 |
| Rt-49 | 7398957 | 5105590 | 109.6 |
| Rt-50 | 7398476 | 5106173 | 112.7 |
| Rt-51 | 7397119 | 5109162 | 119.5 |
| Rt-52 | 7396544 | 5111012 | 126.9 |
| Rt-53 | 7396167 | 5112173 | 127.9 |
| Rt-54 | 7395580 | 5113317 | 126.7 |

4.2.4 Истражно бушење са инжењерскогеолошким картирањем језгра,

За потребе пројектовања новог колосека, по новопројектованој оси пруге изведено је истражно бушење са циљем да се утврди литолошки састав, својства и просторни положај литолошких чланова у склопу терена, те да се региструју појаве и нивои подземне воде.

Положај и обим истражних бушотина условљен је пројектним задатком за овај ниво пројектовања, степеном истражености терена – претходним истраживањима, као и могућношћу приступа локацијама.

Истражно бушење је обављено са машинском гарнитуром, континуалним језгровањем ротационо и на "суво", тј. без коришћења исплаке, како би се регистровале појаве и нивои воде у бушотинама.

Приликом инжењерскогеолошког картирања језгра дефинисана је геолошка грађа терена (састав и склоп) односно издвојени су различити литогенетски чланови и одређена су структурно-текстурна својства издвојених чланова. Такође, регистровано је присуство и величина физичко-хемијске измењености, присуство секундарних обогаћења, промена влажности, пластичности и боје у оквиру заступљених литогенетских чланова.

Након обављеног картирања језгра узети су узорци за лабораторијска геомеханичка испитивања.

За дефинисање геотехничког модела терена на карактеристичним попречним пресецима коришћени су подаци из бушотина изведених за објекте, као и подаци из бушотина претходне документације.

Изведено је укупно 95 истрашних бушотина, пречника 131 mm, просечне дубине 10 m, а за ову деоницу изведено је 19 истражних бушотина. У табели 4.2.4.1 приказни су основни подаци о истражним бушотинама.

Резултати картирања језгра приказани су на профилима истражних бушотина у документационој књизи *E01/1-4.2 Геотехнички елаборат - документациона књига за трасу, деоница: Наумовићево - Суботица - државна граница.*

Локације истражних бушотина приказане су у Прилогу 1 – Инжењерскогеолошка карта са положајем истражних радова и Прилогу 2 – Подужни геотехнички пресек.

*Табела 4.2.4.1: Распоред изведених истражних бушотина*

| Ознака бушотине | Координате (X/Y) | | Кота (m) |
|---|---|---|---|
| Bt-82 | 7398208 | 5097708 | 108.6 |
| Bt-83 | 7398351 | 5098965 | 109.9 |
| Bt-84 | 7398524 | 5100235 | 108.5 |
| Bt-85 | 7398666 | 5101187 | 109.3 |
| Bt-86 | 7398737 | 5101742 | 110.4 |
| Bt-87 | 7398870 | 5102744 | 110.7 |
| Bt-88 | 7398951 | 5103748 | 108.6 |
| Bt-89 | 7399047 | 5104495 | 106.7 |
| Bt-90 | 7399058 | 5105070 | 105.8 |
| Bt-91 | 7398754 | 5105891 | 108.2 |
| Bt-92 | 7397895 | 5106622 | 111.6 |
| Bt-93 | 7397386 | 5108302 | 116.3 |
| Bt-94 | 7397040 | 5109411 | 121.3 |
| Bt-95 | 7396597 | 5110821 | 126.9 |
| Bt-96 | 7396281 | 5111848 | 127.8 |
| Bt-98 | 7395105 | 5114156 | 126.5 |

| Ознака бушотине | Координате (X/Y) | | Кота (m) |
|---|---|---|---|
| Bo-1 | 7399343 | 5101876 | 109.7 |
| Bo-2 | 7400003 | 5103785 | 106.6 |
| Bo-3 | 7399510 | 5104933 | 106.4 |

4.2.5 Извођење опита стандардне динамичке пенетрације - SPT

Опити стандардне пенетрације урађени су у истражним бушотинама – два опита по бушотини. Изведено је укупно 38 опита стандардне пенетрације.

SPT N вредности су послужиле за класификацију тла, одређивање релативне збијености, консистенције, као и за допуну добијених лабораторијских вредности отпорно деформабилних својстава.

Опити су изведени утискивањем конуса (шиљка), дужине 30.50 cm, на дну бушотине, који се побија тегом тежине 0.63 kN који слободно пада са висине 76.3 cm. Пре опита стандардне пенетрације извршено је чишћење бушотине, тако да се конус ослањао на самоникло тло. Током опита броје се ударци мања потребни за утискивање конуса за три интервала од по 15 cm, при чему се коначан број удараца (N) добија сабирањем последња два интервала (30 cm). Број удараца током првих 15 cm пенетрације се одбацује због тога што је тло поремећено током бушења.

Резултати изведених SPT опита приказани су на профилима бушотина, а коментарисани су у оквиру поглавља о геотехничким својствима.

4.2.6 Лабораторијска геомеханичка испитивања,

У циљу одређивања физичко-механичких и отпорно деформабилних својстава издвојених геотехничких средина, на одабраним узорцима тла из истражних бушотина, извршена су одговарајућа лабораторијска геомеханичка испитивања. Сви опити су урађени према важећим СРПС стандардима у геомеханичкој лабораторији Геомеханика д.о.о, Београд.

Лабораторијска испитивања су подељена за на узорке из истражних раскопа и јама и на узорке из истражних бушотина.

За узорке из бушотина укупно је одабрано 58 узорака на којима су одређени следећи опити:

**Одређивање идентификационо-класификационх параметара:**

| | | |
|---|---|---|
| влажност тла | SRPS U. B1. 012 | 58 опита |
| запреминска тежине тла | SRPS U. B1. 013 | 24 опита |
| гранулометријски састав | SRPS U. B1. 018 | 58 опита |
| конзистенција тла | SRPS U. B1. 020 | 44 опита |

**Одређивање параметара деформабилности и чврстоће смицања тла**

| | | |
|---|---|---|
| стишљивост и консолидација у едометру | SRPS U. B1. 032 | 15 опита |
| отпорност тла опитом директног смицања | SRPS U. B1. 028 | 15 опита |

Из истражних раскопа и јама узето је 28 „великих узорака“ ради идентификационо – класификационих и опита „Проктора“ и CBR-а.

**Одређивање идентификационо-класификационх параметара:**

| | | |
|---|---|---|
| влажност тла | SRPS U. B1. 012 | 28 опита |
| гранулометријски састав | SRPS U. B1. 018 | 28 опита |

| | | |
|---|---|---|
| конзистенција тла | SRPS U. B1. 020 | 15 опита |
| одређивање односа влажности и суве запреминске масе | SRPS U. B1. 038 | 28 опита |
| лабораторијско одређивање калифорнијског индекса носивости - CBR | SRPS U. B1. 042 | 28 опита |

Резултати лабораторијских испитивања узорака приказани су у документационој књизи *E01/1-4.2 Геотехнички елаборат - документациона књига за трасу, деоница: Наумовићево - Суботица - државна граница.*

# 5 РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ИСПИТИВАЊА

## 5.1 Геоморфолошка својства

У зони коридора железничке пруге који је предмет ове деонице (Врбас - Наумовићево), издвајају се следеће геоморфолошке целине посматрано у правцу раста стационаже:

- средње бачки лесни плато – телечка лесна зараван
- суботичко-хоргошка пешчара.

Средње бачки лесни плато – телечка лесна зараван

Средње бачки лесни плато је одвојен лесним одсеком и Великим каналом (код Врбаса) са јужне стране од јужно бачке лесне терасе. Лесни плато се пружа северно од Врбаса до Суботице (Суботичко-хоргошке пешчаре). Просечна апсолутна висина на средње бачком лесном платоу је 89-108 mnm (max. 116 mnm). Овај плато представља благо засвођену узвишицу чија надморска висина опада у правцу запада (према Дунаву), у правцу југа и истока (према Тиси). Ово је условило и орјентацију малог броја присутних површинских токова.

Заступљена је река Криваја са својим притокама, која припада сливу Тисе. Такође постоји и систем канала двојаке намене (наводњавања и одводњавања). На средње бачком лесном платоу се издвајају морфолошки обликована и необликована подручја. У морфолошки обликованим подручјима, рељеф карактеришу лесне вртаче различитих димензија и мања или већа удубљења (предолице).

Суботичко-хоргошка пешчара

Суботичко-хоргошко пешчара захвата простор од Суботице до државне границе Келебија. Терен је са надморском висином 107-118 mnm (max. 137 mnm) и изграђен је од еолских творевина ("песка вејавца"). Према морфолошким карактеристикама терен припада равничарском подручју, где се запажају благе заталасане равни и узвишења (дине). Реликтни остаци речних токова се могу сагледати на простору Палићког и Лудошког језера са надморском висином 100-105 mnm.

## 5.2 Геолошка грађа терена

Геолошка грађа подручја истражног простора предметне деонице анализирана је на основу података из тумача који прате одговарајуће листове Основне геолошке карте СФРЈ 1:100 000. лист Суботица (L 34 - 64).

Графички приказ - детаљ основне геолошке грађе терена за потребе израде овог Елабората дат је на слици 5.2.1 - геолошка карта терена.

На истражном простору пруге непосредну површину терена изграђују седименти квартара и подређено седименти ногена – панонски басен. Подлогу панонског басена чине палеозојске стене.

Опис геолошких јединица од старијих ка млађим дат је даље у тексту:

Палеозоик (Pz)

О регионалној геологији подлоге панонског басена највише података сакупљено је сеизмичким радовима за проспекцију нафте и нафтним бушотинама. На листовима ОГК Србобран, Бачка Топола и Суботица, подлогу неогена панонског басена граде претежно палеозојске метаморфисане стене, на дубини од 800 m до преко 2000 m. Само у подручју хорста регистровани су мезозојски кречњаци и појаве жичних стена.

Неоген (Ng)

Наслаге неогеног басена представљене су седиментима горњег миоцена ($M_3$) односно маринским седиментима сармата и маринско-језерским седиментима панона.

Басенски седименти неогена, претстављени су наслагама невезаних, пластичних и квазипластичних стена дебљине веће од 2000 m.

Квартар (Q)

Седименте квартара чине наслаге плеистоцена и холоцена.

**Квартарни седименти плеистоцена ($Q_1$)** претстављени су полицикличним речним и речно барским седиментима, дебљине преко стотину метара.

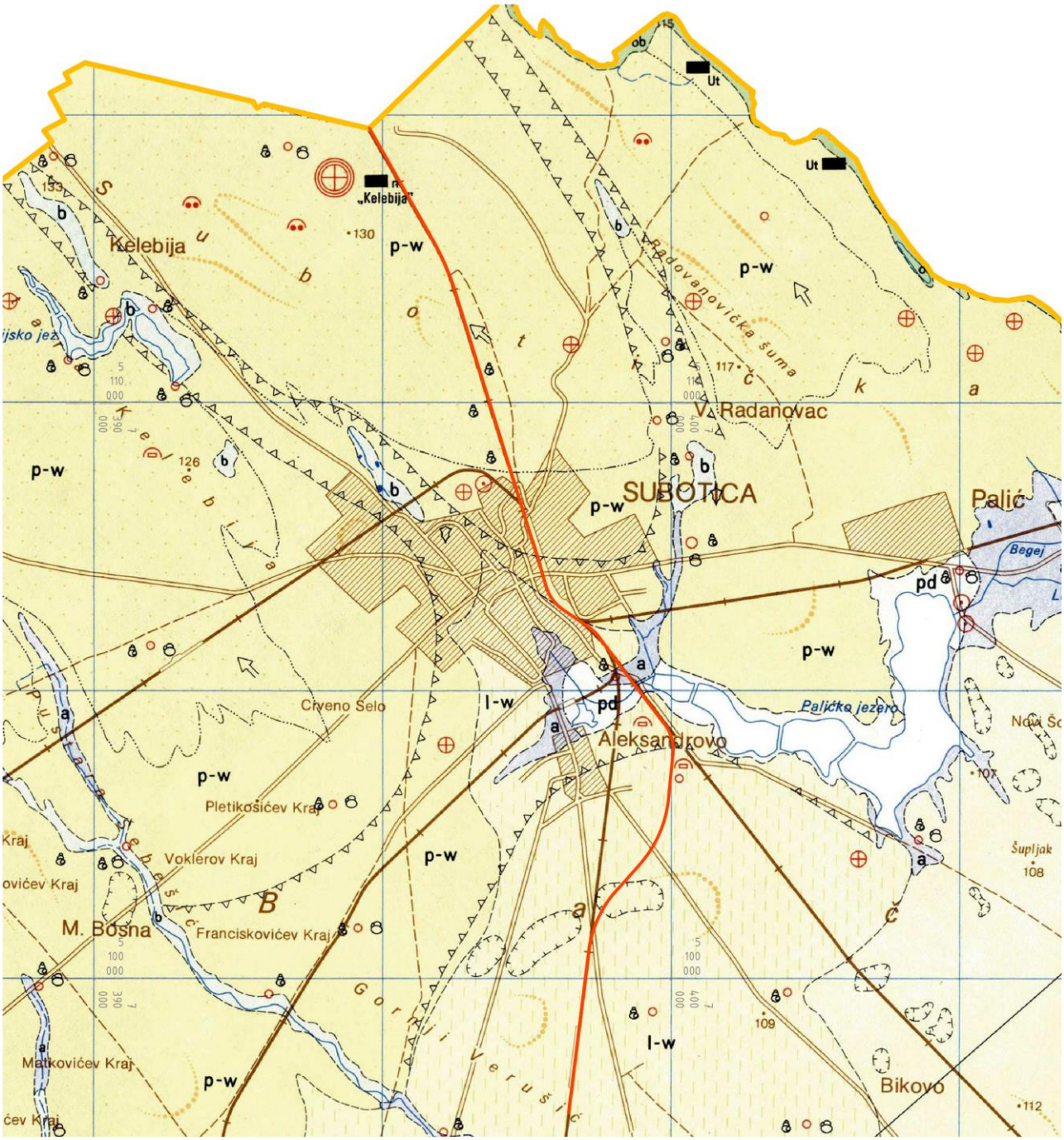
Од значаја за геотехничке услове изградње железничке пруге, је комплекс алувијалних глиновито - песковитих прашина и пескова поводањске и фације речног корита - на стратиграфском стубу ови седименти позиционирани су интерглацијалом Riss-Würm у ком периоду се одвијао интензиван принос и таложење ових седимената. Ови седименти заступљени су у зони трасе од Новог Сада до Змајева.

Лесоидни седименти распрострањени су на другој дунавској тераси северно од Јегричке. Јављају се у морфолошки нижим деловима терена и синхрони су са копненим лесом са којим су у постепеној бочној смени. То су жуто-сиви еолско-флувијални седименти променљивог састава који представљају мешавину седимената поводањске фације и еолске прашине. Седименти лесоида заступљени су у зони трасе од Змајева до Врбаса.

Укупна дебљина седимената последња два глацијала, Riss-Würm износи 50 – 100 м.

**Квартарни седименти холоцена ($Q_2$)** представљени су алувијалним, пролувијалним, делувијалним и делувијално-пролувијалним седиментима. Алувијални седименти појављују се као нерашчлањени алувијални наноси и као рашчлањени материјали фације корита и мртваја (старача). Присутни су и барски и седименти слатина и мртваја.

Иначе, у оквиру урбаних подручја насељених места изведено је вишеструко насипање различитим материјалима за објекте становања, инфраструктуре као и објекте обалоутврде.




*Слика 5-1: Детаљ геолошке карте ширег истражног подручја (ОГК Лист Суботица)*

*ЛЕГЕНДА: pd – слатине, a – алувијум, пескови и алеврити, p-w – еолски пескови, l-w – лес, лесоидни песковити алеврити*

## 5.3 Хидрогеолошка својства терена

Хидрографско обележје ширег истражног простора даје природни површински ток реке Дунава, и његових притока. Сви површински водотоци имају типске одлике равничарских река: мали подужни пад тока, без веће дубинске (вертикалне) ерозије са меандрирањем (рукавци, мртваје).

Према гранулометријском саставу литолошки чланови који изграђују повлатне и приобалне делове алувијона - алевритски пескови и претежно глиновити и песковити алеврити представљају хидрогеолошке колекторе са релативно малом водопропусношћу у којима се формирају повремене издани ("лебдеће") интергрануларног типа. У оваквим срединама издани су формиране на малој дубини од површине терена (у алувијону Дунава на дубини до 3 m, а код Палићког језера и плиће, до дубине 0.5-1 m).

Глиновито прашинаст материјал не пружа услове за формирање "праве" издани као што је то у водопропуснијим материјалима корита (шљунковима и песковима), већ се ради о води која је "заробљена" у финијим интергрануларним порозитетима (коефицјент филтрације материјала је реда величине $k_f=10^{-6}$ cm/s) и прслинама. Материјали са повећаним учешћем глиновите компоненте (преко 20%) представљају релативне хидрогеолошке изолаторе са субкапиларном порозношћу испод којих често, у песковитим прослојцима, долази до формирања издани са субартерским притиском на малим дубинама (5-10 m). Уколико се у близини налазе природне или вештачке депресије (позајмишта) долази до пражњења и формирања издани са слободним нивоом подземне воде.

У терасним седиментима (шљунак, песак и алеврит) сложене интергануларне порозности, формирају се у дубљим зонама (већим од 5 m) издани веће издашности збијеног типа.

Код еолско-флувијалних седимената - лесоидних седимената који су представљени мешавином материјала поводањске фације и еолске прашине (тј. глиновито-песковити алеврити) водопропусност је слабија. У оваквим материјалима формирају се повремене издани мале издашности на малој дубини од површине терена. Природа материјала (значајно присуство глиновито-прашинасте фракције) као и хидрогеолошки услови који владају у терену су такви да не пружају услове за формирање "праве" издани, већ се ради о води која је "заробљена" у финијим интергрануларним порозитетима.

Код лесоида (измењени лес) порозност је смањена на капиларну до субкапиларну, те је средина слабије водопропусна. У њима се такође локално формирају мање издани слабије издашности (у творевинама грубљег зрна када су наталожене преко непропусне подлоге). Код елоских пескова преовлађује капиларна порозност и код њих се у дубљим зонама формира издан са знатном количином воде.

У рецентним алувијалним песковито-алевритским и глиновитим седиментима (тј. у најмлађим седиментима фације поводња и старача односно мртваја, који се и данас стварају) долази до формирања плитке издани већ на дубинама до 1 m. Издани су интергрануларног типа са слободним нивоом. У периодима великог прилива површинских вода, ниво воде у терену се подиже до или изнад површине терена услед слабопропусне подине, што доводи до стварања забарења, а у екстремним условима и плављења терена. То се односи и на делове терена издвојене као слатина и рецентне баре као и делове представљене барским седиментима, али и на поједине области које припадају алевритским (прашинастим) и алевритско-песковитим (прашинасто-песковитим) деловима најмлађих алувијалних наноса.

Даље у тексту је дат приказ нивоа подземних вода и коефицијента водопропусности по траси.

На излазу из железничке станице Врбас, траса излази на лесну платформу и коту 110, где се задржава све до Суботице km 175. Ниво подземне воде на овом потезу утврђен на дубини од 5 – 10 и више метара, па су са тог аспекта геотехнички услови повољни.

У долини Криваје, код Малог Иђоша, ниво подземне воде близак је површини терена.

На подручју железничке станице Суботица, ниво подземне воде утврђен је на коти 110 односно на дубини од 1-3 m, у локалним депресијама и зони пропуста, на дубини <1 m или је терен забарен. И овде релативно висок ниво подземне воде у терену, представља основно геотехничко ограничење, последица је дренирања воде са платоа суботичке пешчаре – где је ниво подземне воде утврђен је на коти 125 односно на дубини од 1-3 m.

Полициклични карактер заступљених седимената условљава значајне разлике у погледу пропустљивости тла:

- макропорозан лес (Врбас - Суботица), по саставу је глиновита прашина показује изразиту анизотропију у погледу пропустљивости у вертикалном и хоризонталном правцу. Од значаја је вертикална пропустљивост леса, коефицијент пропустљивости k је реда величине $10^{-4}$ cm/s.
- у песковима коефицијент пропустљивости k је реда величине $10^{-3}$ cm/s и доста зависи од збијености и удела ситнозних честица. Формирана издан је збијеног типа.

Воде у оквиру алувијона су углавном хидрокарбонатне класе, калцијумске групе. У зонама замочварених, муљевитих и тресетних зона (подручје Суботичке пешчаре) могу бити и сулфатне класе, калцијум-магнезијске групе, па могу бити агресивне на бетон и друге грађевинске материјале.

У терцијарним седиментима обзиром на хетерогеност и прослојавање песковитих водоносних хоризоната са изолаторским прашинасто-глиновитим зонама, формирају се издани под притиском субартеског и артеског карактера. На дубинама од неколико стотина метара, заступљене су јако минерализоване термалне воде.

## 5.4 Геотехничка својства терена и трупа пруге

У оквиру овог поглавља посебно ће бити приказане геотехничке јединице терена као рецентно тло за новопројектовану трасу пруге, а посебно геотехничке јединице у оквиру трупа пруге.

### 5.4.1 Геотехничка својства издвојених јединица терена за новопројектовану трасу

Својства издвојених геотехничких јединица у склопу природне конструкције терена, анализирана су и приказана на основу свих извршених истраживања и испитивања.

За деоницу Руменка - Врбас издвојене су следеће геотехничке јединице:

Рецентно тло

- Насут материјал - n
- Рефулисани песак - $n^{p}$
- Хумус - h

Алувијални седименти Холоцена

- Прашина глиновита - $Q_2al^{pr}$
- Слатине - $Q_2pd$

Еолски седименти Плеистоцена – Wirm

- Лес - $Q_1l$
- Измењени лес - $Q_1l$*
- Погребена земља - $Q_1pz$
- Песак - $Q_1p$

Алувијални седименти Плеистоцена – Riss

- Прашина - $Q_1al^{pr,m}$
- Песак - $Q_1al^{p}$

Рецентно тло одликује се типично хетерогеним и анизотропним својствима у погледу састава материјала и његове збијености. Распрострањено је у површинским деловима терена.

**Насут материјал - n**

У саставу насутог и прерађеног тла утврђене су глине, прашине и органско тло, уобичајно измешано са туцаником, шутом, шљаком и различитим отпадом. Овај материјал утврђен је на локацијама насипа, насељених места и објеката инфраструктуре. Због свог хетерогеног састава овај материјал је неповољних геотехничких карактеристика, осим у случају зона где је насип од хомоген и изграђен од једнолочног материјала.

Насути материјал у саставу трупа постојеће пруге биће детаљно описан у следећем поглављу.

Према USCS припада GW-SP групи. Према ГН-200 припада I-II категорији.

**Рефулисани песак – $n^p$**

Заступљен у зони ранжирне станице Нови Сад и северне градске зоне Суботице. У саставу ове јединице утврђен је средњезрн до ситнозрн песак средње до добро збијен. Овај материјал је повољних геотехничких карактеристика.

Према USCS припада ML-SM групи. Према ГН-200 припада I категорији.

Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Запреминска маса | $\gamma$ | 16,0-18,0 | kN/m$^3$ |
| Сува запреминска маса | $\gamma_d$ | 14,0-15,0 | kN/m$^3$ |
| Влага | w | 11,8-12,8 | % |
| Граница течења | $W_l$ | / | % |
| Индекс пластичности | Ip | / | |
| Кохезија | c' | / | (kPa) |
| Угао унутрашњег трења | $\varphi$ | 15-35 | ($^0$) |
| Едометарски модул стишљивости $M_s$ (kPa) | 5000-25000 | | |
| Прокторов опит | $\gamma_{dmax}$ | 17,0 | kN/m$^3$ |
| | $w_{opt}$ | 10,0 | % |
| Калифорнијски индекс носивости | CBR | 7,0-10,0 | % |

**Хумус – h**

Хумусни покривач представља слој растреситог земљишта чија је дебљина у зони истражних радова од 0,3 до 1,0 m. Тло је меког конзистентног стања, тамномрке боје, махом равномерно диспергованих органских материја у тлу. Само местимчно се запажа појава органског детритуса у виду неразграђених остатака. Неповољних физичко-механичких карактеристика, изразито деформабилан и безводан. Хумусно тло је непогодно као подтло за изградњу објекта.

Физичко-механичке карактеристике нису испитиване, јер је препорука да се пре изградње овај литолошки слој уклони.

Према USCS припада OH групи. Према ГН-200 припада I категорији.

Алувијални седименти Холоцена седименти рецентног квартара, представљени су алувијалним наносима савремених водотока (Јегричка, Канал Врбас, Кривача, код Суботице). Присутни су и барски и седименти слатина и мртваја. Утврђени су у дебљини од 2 – 5 (10) метара. Издвојене геотехничке јединице одликују се променама у саставу материјала уз присутво органских примеса. Не испуњавају услове за подлогу прелазног слоја и темељно подтло.

**Прашина глиновита - $Q_2al^{pr}$**

Ова геотехничка јединица представљена је прашинама, до глиновитим прашинама, полутврде до меке консистенције, средње је до нископластична, светло смеђе боје. Формирана у зони малих водотока. У терену је засићена водом и неповољних је геотехничких карактеристика.

Према USCS припада CL групи. Према ГН-200 припада I категорији.

Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Запреминска маса | $\gamma$ | 17,4-21,1 | | kN/m$^3$ |
| Сува запреминска маса | $\gamma_d$ | 15,9-17,1 | | kN/m$^3$ |
| Влага | w | 9,5-23,3 | | % |
| Граница течења | $W_l$ | 30,2-31,2 | | % |
| Индекс пластичности | Ip | 11,2 | | |
| Кохезија | c’ | 12-14 | | (kPa) |
| Угао унутрашњег трења | $\varphi$ | 19-20 | | ($^0$) |
| Едометарски модул стишљивости $M_s$ | 0-50 kPa | 50-100 kPa | 100-200 kPa | 200-400 kPa |
| | 1700-2500 | 3500-3700 | 5200-9100 | 10000-12200 |

**Слатине - $Q_2pd$**

Ова геотехничка јединица представљена је глиновитим прашинама, меке консистенције, нископластична, тамно смеђе боје. Формирана у терену где је ниво подземних вода близу површине, а уз то и притицај површинских вода знатан. Изузетно лоших геотехничких карактеристика.

Према USCS припада CL - OH групи. Према ГН-200 припада I категорији.

Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Запреминска маса | $\gamma$ | 19,9 | | kN/m$^3$ |
| Сува запреминска маса | $\gamma_d$ | 15,6 | | kN/m$^3$ |
| Влага | w | 22,5-22,8 | | % |
| Граница течења | $W_l$ | 32,2-34,2 | | % |
| Индекс пластичности | Ip | 12,2-12,7 | | |
| Кохезија | c’ | 8 | | (kPa) |
| Угао унутрашњег трења | $\varphi$ | 21 | | ($^0$) |
| Едометарски модул стишљивости $M_s$ | 0-50 kPa | 50-100 kPa | 100-200 kPa | 200-400 kPa |
| | 1000 | 2500 | 4000 | 4000 |

Еолско-алувијални седименти Плеистоцена – Wirm лесоидни седименти распрострањени су на варошкој тераси северно од Јегричке. То су жуто-сиви еолско-флувијални седименти променљивог састава који представљају мешавину седимената поводањске фације и еолске прашине. Седименти лесоида заступљени су у зони трасе од Змајева до Врбаса.

**Прашина глиновита – $Q_1lp^{pr}$**

Ова геотехничка јединица представљена је прашинама, до глиновитим прашинама, полутврде до меке консистенције, средње је до нископластична, светло смеђе боје и чини површинске делове терена. У терену је засићена водом и неповољних је до средње повољних геотехничких карактеристика.

Према USCS припада CL-ML групи. Према ГН-200 припада I-II категорији.

Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Запреминска маса | $\gamma$ | 16,0-21,1 | | kN/m$^3$ |
| Сува запреминска маса | $\gamma_d$ | 14,5-17,5 | | kN/m$^3$ |
| Влага | w | 9,2-28,1 | | % |
| Граница течења | $W_l$ | 30,1-45,8 | | % |
| Индекс пластичности | Ip | 9,2-21,2 | | |
| Кохезија | c’ | 10-23 | | (kPa) |
| Угао унутрашњег трења | $\varphi$ | 19-21 | | ($^0$) |
| Едометарски модул стишљивости $M_s$ | 0-50 kPa | 50-100 kPa | 100-200 kPa | 200-400 kPa |
| | 1200-9000 | 2700-13000 | 4300-15000 | 6500-17200 |

**Глина прашинаста – $Q_1lp^{gl}$**

Ова геотехничка јединица представљена је глинама, до прашинасто песковитим глинама, полутврде консистенције, средње је до нископластична, светло смеђе боје и у подини је геотехничкој јединици $Q_1al^{pr}$. У терену је засићена водом и неповољних је до средње повољних геотехничких карактеристика.

Према USCS припада CL-CH групи. Према ГН-200 припада I-II категорији.

Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Запреминска маса | $\gamma$ | 19,7-21,5 | | kN/m$^3$ |
| Сува запреминска маса | $\gamma_d$ | 15,6-17,6 | | kN/m$^3$ |
| Влага | w | 18,1-26,5 | | % |
| Граница течења | $W_l$ | 31,3-38,6 | | % |
| Индекс пластичности | Ip | 8,8-14,9 | | |
| Кохезија | c’ | 10-20 | | (kPa) |
| Угао унутрашњег трења | $\varphi$ | 18-21 | | ($^0$) |
| Едометарски модул стишљивости $M_s$ | 0-50 kPa | 50-100 kPa | 100-200 kPa | 200-400 kPa |
| | 1600-3400 | 3400-6100 | 4300-9700 | 8600-16000 |

Еолски седименти Плеистоцена – Wirm степски седименти, представљени су наносом леса и измењеног леса. На подручју Суботичке пешчаре, заступљени су наноси динског песка. Утврђени су у укупној дебљини до 15 метара. Заступњени су на телечкој лесној заравни и суботичкој пешчари. Еолски седименти заступљени су у зони трасе од Врбаса до државне границе.

**Лес – $Q_1l$**

Ова геотехничка јединица представљена је песковитим прашинама, слабо је заглињена, тврде до полутврде консистенције, ниско пластична, трошна и дробљива под притиском прстију, цевасте и капиларне порозности, са конкрецијама CaCO3 у траговима, светле боје. Заступљена је у површинским деловима терена телечке лесне заравни, дебљине до 10 метара, повољних геотехничких карактеристика. Седименти леса заступљени су у зони трасе од Врбаса до Александрова (предграђе Суботице).

За наслаге леса је од изузетне важности водити рачуна о структурној чврстоћи и колапсибилности у случају провлажавања. Лес се одликује порозном вертикалном цревастом структуром, где су крупни агрегати честица прашине везани глиновито-карбонатним везивом. Када се овакво тло оптерети напрезањем >100 kN/m$^2$, настаје ризик од колапса структуре тла, што се манифестује наглим, значајним и неравномерним слегањима терена. У случају када се овакво тло значајно раскваси, услед растварања и рушења међуагрегатних глиновито-карбонатних веза, до колапса структуре може доћи и при мањим напрезањима, некада и под сопственом тежином надслоја.

Према USCS припада CL-ML групи. Према ГН-200 припада I-II категорији.

Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Запреминска маса | $\gamma$ | 16,7-21,3 | | kN/m$^3$ |
| Сува запреминска маса | $\gamma_d$ | 14,3-18,0 | | kN/m$^3$ |
| Влага | w | 9,5-26,8 | | % |
| Граница течења | $W_l$ | 28,0-46,2 | | % |
| Индекс пластичности | Ip | 5,6-22,4 | | |
| Кохезија | c’ | 6-19 | | (kPa) |
| Угао унутрашњег трења | $\varphi$ | 18-23 | | ($^0$) |
| Едометарски модул стишљивости $M_s$ | 0-50 kPa | 50-100 kPa | 100-200 kPa | 200-400 kPa |
| | 1300-6000 | 2500-10000 | 2700-16400 | 5000-20300 |

**Измењени лес – $Q_1l$***

Ова геотехничка јединица представљена је глинама прашинастим, слабо је песковита, средње пластична, меке до полутврде консистенције, са конкрецијама CaCO3 у траговима, светле боје садржи хидроксиде Fe и Mn. Измењене је примарне структуре због утицаја подземне воде. Изграђује дубље делове терена телечке лесне заравни и подина је лесу $Q_1l$. Ова јединица је условно повољних геотехничких карактеристика.

Према USCS припада CL-CH групи. Према ГН-200 припада I-II категорији.

Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Запреминска маса | $\gamma$ | 17,6-21,3 | | kN/m$^3$ |
| Сува запреминска маса | $\gamma_d$ | 15,1-17,2 | | kN/m$^3$ |
| Влага | w | 11,8-28,3 | | % |
| Граница течења | $W_l$ | 28,2-37,5 | | % |
| Индекс пластичности | Ip | 4,1-16,0 | | |
| Кохезија | c’ | 7-19 | | (kPa) |
| Угао унутрашњег трења | $\varphi$ | 18-25 | | ($^0$) |
| Едометарски модул стишљивости $M_s$ | 0-50 kPa | 50-100 kPa | 100-200 kPa | 200-400 kPa |
| | 700-6500 | 2400-10000 | 4200-17000 | 7000-24000 |

**Погребена земља – $Q_1pz$**

Ова геотехничка јединица представљена је глинама прашинастим, средњепластична, меке до полумеке консистенције, са конкрецијама CaCO3 у траговима и повећаним садржајем органских материја, тамно браон боје, садржи хидроксиде Fe и Mn. Измењене је примарне структуре због утицаја подземне воде. Изграђује дубље делове терена телечке лесне заравни. Ова јединица је условно повољних геотехничких карактеристика.

Према USCS припада CL-CH групи. Према ГН-200 припада I-II категорији.

Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Запреминска маса | $\gamma$ | 18,5-19,8 | | kN/m$^3$ |
| Сува запреминска маса | $\gamma_d$ | 14,5-16,0 | | kN/m$^3$ |
| Влага | w | 19,1-30,6 | | % |
| Граница течења | $W_l$ | 29,6-42,0 | | % |
| Индекс пластичности | Ip | 6,8-17,6 | | |
| Кохезија | c’ | 15-19 | | (kPa) |
| Угао унутрашњег трења | $\varphi$ | 17-20 | | ($^0$) |
| Едометарски модул стишљивости $M_s$ | 0-50 kPa | 50-100 kPa | 100-200 kPa | 200-400 kPa |
| | 2100-3500 | 3000-4200 | 4500-6000 | 7300-7400 |

**Песак – $Q_1p$**

Ова геотехничка јединица представљена је еолским прашинастим средњезрним до финозрним песковима смеђе до сиве боје. Песак је средње до добро збијен а са дубином му расте присуство прашинасте фракције. У терену је под утицајем подземне воде и повољних је геотехничких карактеристика. Нарочито је заступљен дуж трасе у делу северне градске зоне Суботице и даље до државне границе. Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Запреминска маса | $\gamma$ | 16,0-18,0 | kN/m$^3$ |
| Сува запреминска маса | $\gamma_d$ | 14,0-15,0 | kN/m$^3$ |
| Влага | w | 6,0 | % |
| Граница течења | $W_l$ | / | % |
| Индекс пластичности | Ip | / | |
| Кохезија | c’ | 0-3 | (kPa) |
| Угао унутрашњег трења | $\varphi$ | 28-38 | ($^0$) |
| Едометарски модул стишљивости $M_s$ (kPa) | 5000-25000 | | |
| Прокторов опит | $\gamma_{dmax}$ | 17,3 | kN/m$^3$ |
| | $w_{opt}$ | 12,7 | % |
| Калифорнијски индекс носивости | CBR | 7,0-12,0 | % |

Алувијални седименти Плеистоцена – Riss седименти предпоследњег интерглацијала, представљени су серијом полицикличних алувијално-барских наноса. Утврђени су као подина алувијалним и еолско алувијалним седиментима, дуж целе трасе.

**Прашина – $Q_1al^{pr,m}$**

Ова геотехничка јединица представљена је заглињеним прашинама локално са примесама оргаских материја и песка, смеђесиве боје, течљиве и полутврде консистенције, ниске пластичности. Прашине се одликују променама у саставу материјала уз присутво органских примеса, слабом збијеношћу, ограниченом недренираном чврстоћом и великом стишљивошћу. Неповољних је геотехничких карактеристика.

Према USCS припада CH-ML групи. Према ГН-200 припада I категорији.

Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Запреминска маса | $\gamma$ | 18,1-21,9 | | kN/m$^3$ |
| Сува запреминска маса | $\gamma_d$ | 13,6-18,4 | | kN/m$^3$ |
| Влага | w | 14,8-30,3 | | % |
| Граница течења | $W_l$ | 30,1-56,9 | | % |
| Индекс пластичности | Ip | 6,8-27,3 | | |
| Кохезија | c’ | 15-17 | | (kPa) |
| Угао унутрашњег трења | $\varphi$ | 18-19 | | ($^0$) |
| Едометарски модул стишљивости $M_s$ | 0-50 kPa | 50-100 kPa | 100-200 kPa | 200-400 kPa |
| | 1000-2000 | 1200-3500 | 3000-5000 | 5000-15000 |

**Песак – $Q_1al^p$**

Ова геотехничка јединица представљена је једноличним, ситнозрним песком сиве боје, добре збијености. Ове геотехничке средине појављују се на коти 70-75 до Врбаса, код Ловћенца и Бачке Тополе, на коти 80-85 и у подручју Суботице и пешчаре, на коти 90-100. Релативно постојан састав и добра збијеност, чини их средином повољних геотехничких карактеристика.

Према USCS припада SM-SW групи. Према ГН-200 припада I категорији.

Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Запреминска маса | $\gamma$ | 18,0-21,0 | kN/m$^3$ |
| Сува запреминска маса | $\gamma_d$ | 14,0-16,0 | kN/m$^3$ |
| Влага | w | 14-24 | % |
| Граница течења | $W_l$ | / | % |
| Индекс пластичности | Ip | / | |
| Кохезија | c’ | 0-3 | (kPa) |
| Угао унутрашњег трења | $\varphi$ | 30-40 | ($^0$) |
| Едометарски модул стишљивости $M_s$ (kPa) | 10000-35000 | | |

5.4.2 Геотехничка својства издвојених јединица у оквиру трупа постојеће пруге

У оквиру постојеће конструкције трупа пруге издвојени су горњи и доњи строј пруге.

Горњи строј пруге обухвата колосеке (колосечни прибор) и туцанички застор. Доњи строј пруге обухвата заштитни - прелазни слој (тампон) и планум (насип или подтло).

Картирањем истражних раскопа констатовано је да је горњи строј, туцанички застор, изграђен од кречњачког и делом еруптивног материјала. Шине прагови и колосечни прибор, углавном су лошем, ређе добром стању.

Издвојене су следеће геотехничке јединице у оквиру трупа постојеће пруге:

Туцанички застор

- Туцаник чист – $C_1$
- Туцаник запрљан – $C_2$

Тампон – заштитни слој

- Шљунак чист – $G_1$
- Шљунак запрљан – $G_2$

Прелазни слој

- Песак чист средњезрн – $S_1$
- Песак прашинаст средњезрн – $S_2$
- Песак средњезрн запрљан глиновитом фракцијом – $S_3$
- Дробљени камен – блокови – $S_4$
- Индустријска шљака – $S_5$

Насип или подтло

- Глина прашинаста – $P_1$
- Прашина песковита – $P_2$
- Песак прашинаст – $P_3$

Туцанички застор, извођењем истражних раскопа и њиховим картирањем констатовано је да се засторна призма састоји од две врсте туцаника - чист туцаник $C_1$ и прљав туцаник $C_2$.

**Туцаник чист – $C_1$**

Засторна призма од чистог туцаника издвојена је на скоро читавој деоници. Чиста туцаничка призма је од кречњака. Мерено од горење ивице шина (ГИШ), дебљина чистог туцаника је просечно 0,5m. У току коришћења пруге, поред повремене замене колосечног прибора, највише се радило на замени – репарацији туцаничког застора „решетања“.

**Туцаник запрљан – $C_2$**

На већем броју истражних раскопа, односно на великом делу предметне деонице испод чистог туцаника налази се запрљан туцаник. Његова запрљаност је настала услед дуготрајног одвијања саобраћаја и мрвљења туцаника испод прагова и на тај начин долази до запрљаности дела туцаничке призме, као и инфилтрацијом ситнијих честица из подинских слојева трупа.

Тампон – заштитни слој песковити шљунак, непосредно испод туцаничке призме констатован је у скоро свим истражним раскопима. Слабо је песковит, ретко прашинаст, уједначене гранулације, добро збијен, светло смеђе до смеђе сиве боје. Веома је променљиве дебљине, од 10-40cm. углавном се појављује као запрљан шљунак $G_2$, ретко као чист $G_1$.

**Шљунак чист – $G_1$**

Ретко се појављује као чист шљунак, и као такав мале је дебљине. За овај ниво пројектне документације нису констатоване зоне у којима се може издвојити континуална заступљеност овог материјала.

**Шљунак запрљан – $G_2$**

Запрљани шљунак је доминантни слој у оквиру тампона-заштитног слоја. Запрљан је глиновитом фракцијом – инфилтрацијом финозрног материјала из подинских слојева. Овај материјал не задовољава критеријуме за уградњу у заштитни слој, јер садржи доста фине фракције, али се може користити у планиму тла и за завршне слојеве насипа.

Тампонски – заштитни слој је неуједначене дебљине, и неуједначених физичко – механичких карактеристика дуж постојеће трасе пруге па га је у склопу реконструкције потребно уклонити.

Задржавање овог слоја на појединим деловима могуће је уз додатна испитивања и анализу у склопу следећих нивоа пројектовања.

Прелазни слој песковити материјал, повремено шљунковит, ситнозрн, уједначене гранулације, средње до добро збијен сиве до светло смеђе боје, дебљине 5 – 15cm. Овај слој није константан дуж трасе пруге. Често је помешан са горњим слојевима туцаника или запрљаног шљунка, као и са доњим слојевима кохерентних прашинасто – глиновитих материјала.

У оквиру овог слоја издвојени су следећи песковити материјали:

**Песак чист средњезрн – $S_1$** – материјал који се јасно уочава испод тампонског слоја, добро збијен, повољних физичко-механичких карактеристика.

**Песак прашинаст средњезрн – $S_2$** – материјал који је доминантан уз $S_1$ у оквиру прелазног слоја, помешан са прашинастом фракцијом и јасно се уочава испод тампонског слоја, добро збијен, повољних до средње повољних физичко-механичких карактеристика.

**Песак средњезрн запрљан глиновитом фракцијом – $S_3$** – материјал који је, помешан са прашинасто – глиновитом фракцијом, влажан неповољних физичко-механичких карактеристика. Доста је помешан и са горњим тампонским слојевима и није јасно уочљив.

**Дробљени камен – блокови – $S_4$**, овај материјал констатован је у једном раскопу, блокови су dm димензија, вероватно као замена материјала слабо носивог подтла.

**Индустријска шљака – $S_5$** јавља се најчешће измешана са другом јединицом (као што су стари туцаник, шљунак...) или као посебан тањи слој. Примећена је у станици Бачка Топола, могуће је да је присутна и на осталим станичним платоима дуж трасе.

Прелазни слој је неуједначене дебљине, и неуједначених физичко – механичких карактеристика дуж постојеће трасе пруге па га је у склопу реконструкције потребно уклонити.

Задржавање овог слоја на појединим деловима могуће је уз додатна испитивања и анализу у склопу следећих нивоа пројектовања.

Насип или подтло, материјали који су уграђивани у насип пруге или чине подтло, компаративни су са инжењерскогеолошким карактеристикама терена. Насипи су најчешће изграђени од локалног материјала добијеног из позајмишта дуж трасе у зони трупа пруге.

Геотехничке карактеристике ових материјала су приказани у претходном поглављу а представљене су као:

**Глине прашинасте – $P_1$**

Ова геотехничка јединица заступљена је у трупу пруге дуж трасе од Новог Сада до Врбаса, припада геотехничким јединицама $Q_1al^{pr}$, $Q_1lp^{pr}$. Ова геотехничка јединица представљена је прашинама, до глиновитим прашинама, полутврде до меке консистенције, средње је до

нископластична, светло смеђе до мрке боје и чини површинске делове терена. Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Влага | w | 6,2 – 32,3 | % |
| Граница течења | $w_l$ | 30,2 – 42,2 | % |
| Индекс пластичности | $I_p$ | 19,2 – 27,3 | % |
| Глина | | 3,3 – 17,3 | % |
| Прашина | | 68,2 – 89,7 | % |
| Песак | | 3,0 – 28,2 | % |
| Водопропусност | Hazen | $10^{-7}$ – $10^{-4}$ | cm/s |
| | USBR | $10^{-6}$ – $10^{-4}$ | cm/s |
| Прокторов опит | $w_{opt}$ | 15,3 – 28,8 | % |
| | $\gamma_{d\ max}$ | 14,6 – 17,3 | kN/m$^3$ |
| Калифорнијски индекс носивости | CBR | 1,8 – 4,7 | % |

**Прашина песковита – $P_2$**

Ова геотехничка јединица заступљена је у трупу пруге дуж трасе од Врбаса до Суботице, припада геотехничкој јединици $Q_1$l. Представљена је песковитим прашинама, слабо је заглињена, тврде консистенције, ниско пластична, трошна и дробљива под притиском прстију, цевасте и капиларне порозности светле боје. Заступљена је у површинским деловима терена телечке лесне заравни, дебљине до 10 метара, повољних геотехничких карактеристика. Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Влага | w | 9,9 – 28,5 | % |
| Граница течења | $w_l$ | 0 – 38,6 | % |
| Индекс пластичности | $I_p$ | 0 – 16,1 | % |
| Глина | | 2,3 – 18,9 | % |
| Прашина | | 53,3 – 90,3 | % |
| Песак | | 3,5 – 39,6 | % |
| Водопропусност | Hazen | $10^{-7}$ – $10^{-4}$ | cm/s |
| | USBR | $10^{-6}$ – $10^{-4}$ | cm/s |
| Прокторов опит | $w_{opt}$ | 11,7 – 22,4 | % |
| | $\gamma_{d\ max}$ | 15,7 – 18,3 | kN/m$^3$ |
| Калифорнијски индекс носивости | CBR | 2,0 – 7,6 | % |

**Песак прашинаст – $P_3$**

Ова геотехничка јединица заступљена је у трупу пруге дуж трасе у градској зони Новог Сада и Суботице, као и у зони суботичке пешчаре. Ова геотехничка јединица представљена је еолским и насутим прашинастим, средњезрним до финозрним песковима смеђе до сиве боје. Песак је средње до добро збијен а са дубином му расте присуство прашинасте фракције. Повољних је геотехничких карактеристика. Вредности физичко механичких параметара су следећи:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Влага | w | 4,3 – 10,2 | % |
| Граница течења | $w_l$ | / | % |
| Индекс пластичности | $I_p$ | / | % |
| Глина | | / | % |
| Прашина | | 0 – 5,4 | % |
| Песак | | 91,0 – 99,8 | % |
| Водопропусност | Hazen | $10^{-3}$ | cm/s |
| | USBR | $10^{-3}$ – $10^{-2}$ | cm/s |
| Прокторов опит | $w_{opt}$ | 6,8 – 14,6 | % |
| | $\gamma_{d\ max}$ | 16,7 – 18,1 | kN/m$^3$ |
| Калифорнијски индекс носивости | CBR | 8,9 – 18,2 | % |

## 5.5 Савремени геолошки процеси и појаве

У самој зони железничког коридора присутни су следећи облици савремених геолошких процеса и појава:

Површинско физичко-хемијско распадање изражено је у структурно разореном и расквашеном лесу (услед лаких и брзих физичко-хемијских процеса лес је готово увек прекривен распаднутом зоном тј. зоном деградираног - измењеног леса).

До распадања долази под дејством физичко-хемијских утицаја површинских и подземних вода, колебања температуре, утицаја мраза, утицаја корења биљака и др. Интензитет промена стенских маса зависи од њиховог литолошког састава и интензитета спољних утицаја, а генерално интензитет процеса опада са дубином.

У оквиру коре распадања основна стенска маса је измењена и ослабљена, прслинско - пукотинске порозности и смањених отпорно-деформабилних својства. Значај познавања распрострањења и дебљине коре распадања је од утицаја на вршење ископа, одржавање стабилности косина и за услове фундирања објеката.

Процес планарног спирања је спор и дуготрајан процес који се огледа у транспорту најситнијег распаднутог материјала атмосферским водама (воде дифузног карактера). Као резултат деловања овог процеса на падинским деловима терена створен је делувијални покривач. Генерално, знатне дебљине је у теренима изграђеним од плиоценског материјала песковито-прашинасто-глиновитог састава (дебљина делувијалног покривача је од 3-5 m), док је тањи у теренима изграђеним од миоценског материјала (дебљина делувијалног покривача је < 3 m).

Појава ликвефакције везана је за хоризонтално услојена тла изграђена од водозасићених и растреситих ситнозрних и прашинастих пескова (Ip<5) који су присутни у алувијалном наносу Дунава. Анализа сеизмичке активности показује да у извесним већим временским интервалима сеизмичка побуда (ниво убрзања и трајање потреса) може бити довољна за прелазак пескова у течно стање. Снажни земљотрес, чија је магнитуда већа од $6^0$ (шест степени) MCS скале, обезбеђује довољан број цикличних оптерћења (Nc>10) за иницирање ликвефакције.

Појаве велике деформабилности (стишљивости) тла везане су за нискоравничарске терене (најнижи делови алувијалних равни испуњене седиментима бара (b) и мочвара (старача) (am). Ове појаве условљене су како седиментационим условима односно таложењем муљевитих седимената, тако и присуством подземних вода у терену. Последице ових појава могу бити већа и неравномерна слегања услед преоптерећења, уколико се не води рачуна о начину фундирања објеката. Ове појаве могу бити значајне и за лесоидне делувијалне седименте (делувијални нанос (dl)) и повлатне лесоидне средине речно-терасних седимената најниже речне терасе ($t_1$): на теменима ове терасе суглине и супескови су добили лесоидни хабитус иако генетски немају никакву везу са копненим лесом.

Провлажавањем ових материјала и преоптерећењем од објекта долази и до деформабилности тла. Појаве неуједначене стишљивости и неравномерног слегања тла, могу се јавити и у другим стенским комплексима односно врстама тла, што је последица пре свега неравномерности у литолошком саставу, па према томе и неуједначености у физичко-механичким и отпорно-деформабилним својствима (квартарни језерски пескови, прашинасти и заглињени).

## 5.6 Сеизмичка својства терена

На олеати сеизмолошке карте која се односи на временски интервал за повратни период од 100 година подручје просторног плана се налази **у зони 7º (седмог степена) и малим делом у зони 8º (осмог степена) MCS скале** (простор око Петроварадина и Новог Сада).

За повратни период од 500 година анализирани простор се налази у **зонии 8º (осмог степена) MCS скале.**

На олеати која се односи на повратни период земљотреса од 1000 година, подручје просторног плана се налази **у зони 8º (осмог степена)**.

Степен вероватноће догађаја интензитета који је присутан на овим олеатама износи 63%.

| повратни период (године) | степен сеизмичности по MCS скали |
|---|---|
| 100 | 7º и 8º |
| 500 | 8º |
| 1000 | 8º и 9º |

Коришћење одговарајуће олеате сеизмолошке карте зависи од категорије објекта који се гради. Наша постојећа земљотресна регулатива односи се на објекте високоградње, а путеви и пруге представљају сложени технички систем нискоградње који у свом саставу садрже инжењерске објекте високоградње. Објекти су подељени у две групе и то "А" и "Б". Тип "А" представља инжењерске објекте - мостове, потпорне зидове, док тип "Б" представља земљани труп, горњи строј железничке пруге и пута.

На сеизмички хазард простора утичу аутохтони земљотреси (чији се епицентри налазе у непосредној близини коридора) и алохтони земљотреси (чији се епицентри налазе веома удаљени од коридора). Дефинисање потенцијалне повредљивости терена на поменути начин, представља подлогу за детаљна испитивања сеизмичког хазарда, на основу које ће се одредити потребна сеизмоотпорност конкретних објеката.

Анализа сеизмичког ризика подразумева процену штета на објекту у току његове експлоатације коју треба очекивати у условима датог интензитета. Према нацрту новог "Правилника" дефинисана су два типа земљотреса који деформишу објекат у веку његове експлоатације на следећи начин:

- $Z_1$ - Могућа појава земљотреса у веку експлоатације објекта, умерена оштећења која се лако могу десити и
- $Z_2$ - Мања вероватноћа појављивања земљотреса у току века експлоатације у односу на $Z_1$, а могу се десити појаве тешких оштећења објеката, али не и њихово рушење.

Према важећој законској регулативи за изградњу објеката високоградње у сеизмичким подручјима користе се сеизмолошке карте по временским периодима. **Тако се за објекте II и III категорије користи сеизмолошка карта за повратни период од 500 година. На тој карти траса железничке пруге се налази у зони 8º (осмог степена) MCS скале** (Сеизмолошка карта за повратни период од 500 година, Заједница за сеизмологију СФРЈ - Београд, 1987. год.).

Значајно је истаћи да великим делом простор, који је дефинисан овим планом, у површинском делу изграђују махом квартарне творевине представљене невезаним и везаним неокамењеним наслагама које су аквифери интергрануларне порозности, **тако да се терен може сматрати повредљивим у условима 6º, 7º и 8º (шестог, седмог и осмог сеизмичког степена) MCS скале.** То значи да су могуће пластичне деформације у оваквој врсти тла, па стога треба очекивати повећане трошкове у темељењу објеката.

# 6 ГЕОТЕХНИЧКИ УСЛОВИ ИЗГРАДЊЕ ПРУГЕ

Деоница од Наумовићева једним кратким делом (до Александрова) је положена преко слабо глиновитих прашина – леса ($Q_1$l). Геотехнички услови изградње трасе за овај део приказани су у извештају за предходну деоницу. Другим делом (подручје града Суботице), траса је положена преко алувијалних глиновито-песковитих прашина ($Q_1$al). У последњем делу деонице, након изласка из станице, траса је положена на комплекс еолских пескова суботичке пешчаре – песак ($Q_1$p).

Траса се својим првим делом пружа преко леса, кота 108 – 110 мнв, затим пролази својим централним делом кроз градско језгро насипом до зоне изласка из станице, а затим се „пење“ на плато суботичке пешчаре, кота 120 – 128 мнв.

Траса је пројектована углавном на ниском насипу, осим насипа гроз град који је висине 2 - 5 m. У оквиру ове деонице садржан је већи број пропуста, као и надвожњака и подвожњака у Суботици.

На овој деоници предвиђена је изградња - реконструкција станица Наумовићево, Александрово и станице Суботица.

## 6.1 Преглед геотехничких услова терена

На делу трасе до Александрова ниво подземне воде у терену је утврђен на дубини од око 3 m од површине терена, а даље до краја деонице ниво подземне воде у терену је утврђен на дубини од 1- 3 m од површине терена што узрокује условно повољне услове.

У природним условима терен је стабилан. Нестабилност терена може се изазвати вештачким путем у смислу зарушавања ископа испод нивоа подземне воде или слегања изазваних консолидацијом партија стишљивог и слабо носивог тла испод тежих објеката.

Геотехничка својства слојева тла у нивоу темељног подтла, генерално су значајно варијабилна, при чему се, уопштено може рећи да се уз пораст дубине залегања слојева повећава збијеност и носивост тла.

Дебљина слоја хумифицираног тла, достиже дебљину од 1-1.5m, а слој чистог хумуса (са садржајем органске компоненте >6%) има дебљину до 0,5 m. Са обе стране пружног насипа, у зонама постојећих путних прелаза и нарочито железничких станица, депонована је значајна количина насутог и прерађеног тла, по правилу некатегорисаног земљаног материјала и отпада.

Слојеви глиновито прашинастих материјала (ознака $Q_1$al) са класификационим симболима CL и ML – глине и прашине ниске пластичности, заступљени су у површинским деловима терена, до дубине 5 – 7 метара од површине. За ове матерјале карактеристична су велика одступања по параметру збијености, па се на основу тога одређује њихова подобност за подтемељно тло. У зони суботичке депоније комуналног отпада констатоване су партије слабоносивог тла меке консистенције – комплекса слатине ($Q_2$pd).

Еолски пескови ($Q_1$p) по својим индентификационо – класификационим својствима задовољавају минимално прописане критеријуме, а коначна оцена о употребљивости ових материјала мора узети у обзир и допунске показатеље, тако да се и овде препоручује израда ојачане постељице. Подину еолских песковима чине стишљиве, слабо носиве партије прашинасте глине сиве боје, добељиве око 5m.

Слојеви средње и добро збијених прашинастих и монотоних сивих пескова ($Q_1$al$^p$) са класификационим симболима SM и SP заступљени су на дубини >10 (20) m.

Уз наведене ставке деоница је декларисана као условно повољна у погледу услова пројектовања, извођења радова и трошкова градње железничке пруге.

## 6.2 Вредновање материјала у нивоу подлоге прелазног слоја - постељице

На основу резултата испитивања материјала у нивоу подлоге прелазног слоја - завршног слоја насипа постојеће пруге, по траси новог колосека и материјала из постојећег насипа, извршено је вредновање квалитета заступљених материјала за ову деоницу.

У делу деонице где су заступљени глиновито прашинасти материјали (CL и ML) испуњени су услови материјала за уградњу у слој постељице, међутим ограничавајући фактор је недовољна носивост. Испитивањем лабораторијске збијености и носивости материјала, утврђена је крајње ограничена носивост тла у односу на постављене критеријуме збијености подлоге прелазног слоја – постељице, вредности дозвољене носивости : $Ev_2$= 60 MN/m$^2$ или Sd > 100%, CBR = 15 %. Слојеви глиновито-прашинастих материјала, могу се збити до суве запреминске тежине $\gamma_d$ ≥16 kN/m$^3$ (прописане у путоградњи) али је носивост тла исказана преко показатеља мала (CBR = 2 - 5 %). Како се искуствено добро зна да за глиновито-прашинасти материјали, са класификационим симболима CL и ML – глине и прашине ниске пластичности, највећа носивост одговара вредности (CBR = 3 – 5 %) што је кореспондентно ($Ev_2$= 15 - 20 MN/m$^2$) види се да је носивост тла знатно мања од захтеване Техничким условима.

У градској зони, пруга је пројектована на постојећем насипу, насип је изграђен од прашинасто – песковитог матерјала (ML). Овај материјал испуњава услове за уградњу у завршне слоје насипа – постељице, међутим ограничавајући фактор је недовољна носивост:

- За високе насипе (насип H>2 m, слојеви дубине преко 2 метра), на основу Прописа којима су регулисани критеријуми квалитета материјала за уградњу у слојеве насипа и стандарда у сродним областима путоградње SRPS U.E1.010 и SRPS U.E8.010, констатује се да испитани материјали испуњавају услове за уградњу и носивости у дубље слојеве насипа ($Ev_2$= 20 MN/m$^2$ или Sd > 95%).
- За ниске насипе (насип H<2 m), испитани материјали испуњавају услове само за уградњу. Вредности дозвољене носивости: Ev2= 45 MN/m2 или Sd > 100%

У зони суботичке пешчаре у подлози прелазног слоја заступљени су материјали који по својим индентификационо-класификационим својствима и испитаној збијености и носивости, задовољавају минимално прописане критеријуме.

Обзиром на ранг пруге, оцену о испуњености минимално прописаних критеријума за прашинасте или монотоне пескове треба узети условно. Коначна оцена о употребљивости ових материјала мора узети у обзир и допунске показатеље, којима се доказује квалитатини састав у погледу садржаја ситнозрне фракције, филтрационе стабилности и постојености на мразу.

Ниво подземне воде у терену, је релативно висок, на дубини од 1-3 m, у локалним депресијама и зони пропуста, на дубини <1m или је терен забарен. Релативно висок ниво подземне воде у терену представља основно геотехничко ограничење у погледу услова механичке стабилизације природног подтла у подлози прелазног слоја.

**Детаљном анализом приказаних резултата на овој деоници, утврђено је да заступљени материјали у нивоу завршног слоја насипа - постељице не испуњавају прописане услове или се њихова употреба не препоручује.**

## 6.3 Препоруке за изградњу и реконструкцију пруге

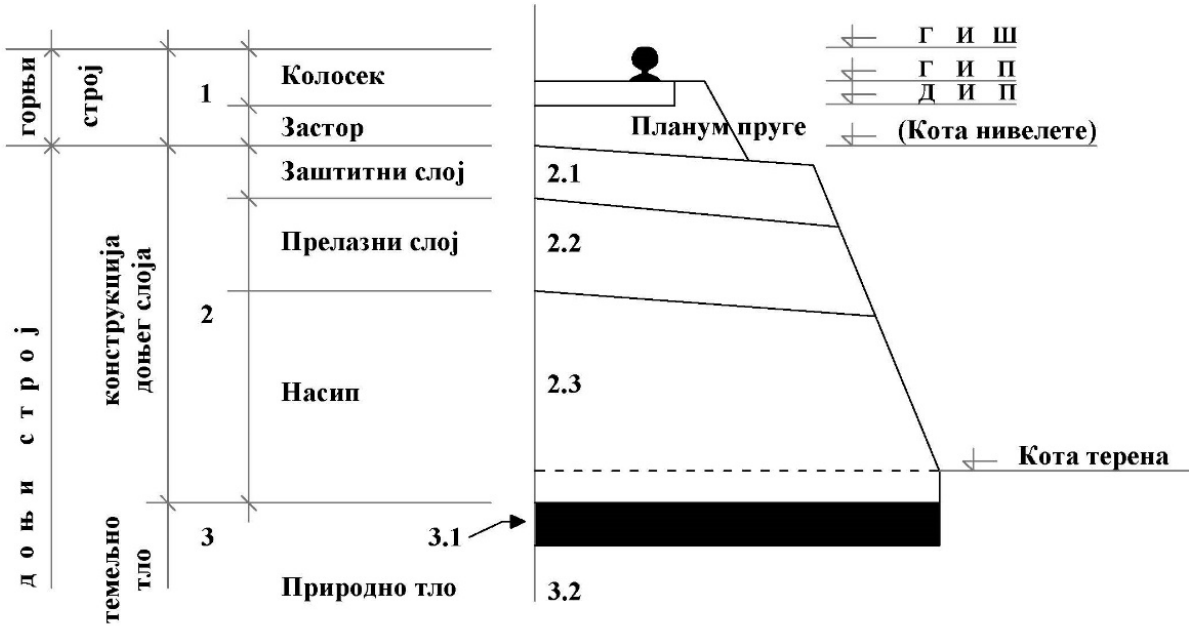
Према пројектном решењу, изградња пруге биће извршена тако што ће се траса будуће пруге на одређеним потезима налазити на новој локацији у односу на постојећу трасу пруге – због ублажавања кривина и сл. и у том случају биће изграђен нов труп двоколосечне пруге.

Са друге стране задржава се садашњи правац трасе пруге и долази до изградње дела трупа пруге због проширења тј додатка другог колосека. У овом случају ће се нови труп надоградити на постојећи.

Све препоруке за реконструкцију постојећег колосека и изградњу новог у складу су са важећим техничким нормативима у нашој земљи. У даљем тексту ће укратко бити приказани важећи прописи за одржавање доњих стројева железничких пруга из документа:

*ПРАВИЛНИК О ИЗМЕНАМА И ДОПУНАМА ПРАВИЛНИКА О ТЕХНИЧКИМ УСЛОВИМА И ОДРЖАВАЊУ ДОЊЕГ СТРОЈА ЖЕЛЕЗНИЧКИХ ПРУГА - На основу члана 54. став 2. и члана 56. став 2. Закона о безбедности и интероперабилности железнице („Службени гласник РС”, бр. 104/13, 66/15-др. закон и 92/15).*

Посебно је наглашен део који се односи на труп пруге, слика 6.3.1.




*Слика 6-1: Шематски приказ конструкције трупа пруге*

У табели 6.3.1. дате су вредности за испуњавање услова носивости делова трупа пруге, где је $Ev_2$ модул деформације, $Ev_d$ динамички модул деформације (*Упутство 338 за контролу сабијености доњег строја железничких пруга динамичком методом уређајем са лаким падајућим тегом)*, а Dpr степен збијености – однос вредности суве запреминске тежине материјала уграђеног у слој у односу на лабораторијску вредност за одговарајући материјал.

**Приликом израде и реконструкције трупа пруге потребно је у потпоност се придржавати стандарда и правилника чији је извод дат претходно.**

*Табела 6.3.1: Услови дозвољене носивости за доње стројеве пруге*

| Положај слоја | Ранг пруге/ Дубина слоја | | $E_{v2}$ | $E_{vd}$ | | $D_{pr}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | [N/mm$^2$] | [N/mm$^2$] | | [%] |
| | | | | GU, GP, GW, GF, SP, SW | све друге врсте тла | |
| На нивоу планума заштитног слоја / планум пруге | Магистрална[1] | | 120 | 50 | | 100 -103 |
| | Регионална[1] | | 100 | 45 | | 100 |
| | Локална[2] | | 80 | 40 | | 97 |
| На нивоу планума прелазног слоја | Магистрална[1] | | 80 | 40 | 35 | 100 |
| | Регионална[1] | | 60 | 35 | 30 | 97 |
| | Локална[2] | | 45 | 30 | 25 | 95 |
| На нивоу планума насипа[3] | Магистрална/регионална[1] | | 60 | 30 | | 100 |
| | Локална[2] | | 45 | 25 | | 100 |
| Слојеви насипа на дубини испод планума насипа[3] | ≤ 2,0m | | 45 | 25 | | 100 |
| | > 2,0m | | 20 | 20 | | 95 |
| | У усеку | | 20[2]-45[1] | 20[2] - 25[1] | | 95 |
| Темељно тло на дубини испод планума насипа | ≤ 1,0m | ≤ 0,5m | 45-60 | 25-35 | | 98 [4] |
| | | > 0,5 - 1,0m | | | | 95 [4] |
| | > 1,0 - 2,0m | | 20-60 | 20-35 | | 92 [4] |

1) колосеци отворене пруге, главни колосеци
2) локална пруга и споредни колосеци на свим пругама
3) испод прелазног слоја
4) на дубини испод нивоа планума.

### 6.3.1 Припрема темељног тла

Радови на припреми темељног тла - подтла трупа пруге, одвијаће се у прашинасто-глиновитим материјалима и еолском песку.

Неопходно је пре изградње насипа одстранити хумусни слој (дебљине од 0,3 – 0,5m, локално и дубље). Овај слој заменити материјалом који ће се уграђивати у насип. Тачну дебљину скидања хумусног слоја, одредиће надзор на лицу места.

Након откривања, подтло је потребно испланирати и омогућити привремено и трајно одводњавање према важећим прописима. Тако припремљено подтло механизовано стабилизовати - сабити. Збијање изводити одговарајућом механизацијом.

Због могућег проблема високог нивоа подземне воде, стабилизацију подтла извести додатком креча или сл, као и размотрити могућност уградње геотекстила са заменом материјала у подтлу.

Због могућег проблема смањене носивости могуће је извршити замену тла. Замену извести од песковитог шљунка или ломљеног камена, који треба механизовано сабити. Могуће је замену материјала извршити и стабилизацијом локалног кохерентног материјала цементно-кречном мешавином како би се постигла боља носивост и смањена влага.

Потенцијална места на којима би се вршила нека врста додатног третирања подтла (замена или употреба геокомпозита) биће тачно прецизирана након додатних истраживања за следећу фазу пројекта.

**Захтевани критеријуми за носивост темељног тла – насип висине преко 2m**

| Положај слоја | Ранг пруге/ Дубина слоја | $E_{v2}$ | $E_{vd}$ | | $D_{pr}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | [N/mm²] | [N/mm²] | | [%] |
| | | | GU, GP, GW, GF, SP, SW | све друге врсте тла | |
| Темељно тло на дубини испод планума насипа | > 1,0 - 2,0m | 20-60 | 20-35 | | 92 [4] |

На деловима где је нивелета таква да је пруга пројектована на ниском насипу (у нивоу терена) или усеку, темљно тло ће представљати постељицу - подлогу прелазном слоју.

У том случају услови носивости темељног тла се пооштравају до нивоа испуњености услова материјала за уградњу у постељицу - SRPS U.E8.010, и услова за дозвољену носивост - $Ev_2$= 60 MN/m² или Sd > 100%, CBR = 15 %. У случају неиспуњавања критеријума извршити мере санације тла (применом геосинтетика, заменом материјала од песковитог шљунка или ломљеног камена, као и стабилизацијом хидрауличним везивом-цемент, креч, пепео).

**Захтевани критеријуми за носивост темељног тла - постељице**

| Положај слоја | Ранг пруге/ Дубина слоја | $E_{v2}$ | $E_{vd}$ | | $D_{pr}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | [N/mm²] | [N/mm²] | | [%] |
| | | | GU, GP, GW, GF, SP, SW | све друге врсте тла | |
| На нивоу планума насипа[3] | Магистрална/регионална[1] | 60 | 30 | | 100 |

Обраду темељног подтла неопходно је изводити у сушном периоду.

По завршеном збијању извршити контролу збијености у складу са важећим стандардима.

### 6.3.2 Израда насипа

Пруга се гради у нивоу терена, ниском насипу, изузетно у насипу висине од око 3,0 – до 8,0 метара. Високи насипи су у деловима навозних рампи за објекте и зони станице Суботица.

Препорука је да се високи насипи преко 4,0 m изводе у три или више фаза за једнаке висине, а да се за окончање фазе (завршетак консолидације) сматра када вредност порних притисака падне испод 1,0 kPa.

Насути материјал механизовано сабијати у слојевима дебљине до 30cm. Након извршене консолидације, то јест период од минимум 30 дана од завршетка насипања извршити планирање насипа на коначну фигуру и обраду косине.

Изградњу насипа вршити у фазама (насипање материјала и сабијање) како би се у свакој фази извршила консолидација подтла и како не би дошло да лома тла и нарушавања стабилности насипа.

Горњу ивицу насипа формирату у нагибу од 5%, ради што ефикаснијег одводњавања.

Ако је потребно проширење постојећег насипа, оно се врши степенасто. Ширина степеника износи 0,6–1,0 m, висина ≤ 0,6 m а нагиб ≤ 5%. Потребно је користити материјал што сличнији постојећем материјалу у насипу, а у складу са приказаним стандардима. На контакту старог и новог насипа обезбедити збијеност као и ону која је потребна за израду насипа.

У зони где ће пруга бити изграђена на постојећем насипу (станична зона Суботице), неопходно је постојећи материјал побољшати (замена материјала, стабилизација хидрауличним везивом или уградња геосинтетика) у дебљини 10-30cm у односу на пројектовану коту планума насипа (почетне коте прелазног слоја), а како би се испунио критеријум дозвољене носивости планума насипа.

Насипе треба изводити са надпрофилом, јер потпуно квалитетно збијање до ивице насипа није могуће. Извођење са надпрофилом и касније уклањање вишка материјала са косина гарантује одговарајући (пројектовани) квалитет материјала за насипање и на самој косини насипа.

На основу геостатичких прорачуна (поглавље 6.3.6), препоруке и правилника „Путева Србије“ препоручују се следећи нагиби косина (висина:дужина) за одговарајуће материјале:

За насипе до 3 m висине – нагиб 1:1,5 до 1:2

За насипе преко 3 m висине:

- Прва 3 m од коте планума нагиб 1:1,5 до 1:2
- Преко 3 m од коте планума нагиб 1:1,75 до 1:3

Косине насипа обавезно обезбедити од суфозије, спирања материјала и линијске ерозије – придржавати се стандарда SRPS U.S4.064 *Типови осигурања косина насипа, усека и ножице насипа*. Заштиту извести хумузирањем или облагањем косина геокомпозитом. Проблем суфозије је нарочито изражен код насипа израђених од некохерентних материјала (песак, шљунак) и за такве материјале облагање и зажтита косина је неопходна.

Све насипе обавезно треба обезбедити изградњом канала за одводњавање у ножицама насипа.

За насипе од кохерентног материјала, на локацијама где се очекује висок ниво подземне воде током експлоатације пруге, предвидети дренажни слој – тепих између подтла и насипа танким слојем песковитог шљунка или геокомпозитом.

Препорука је да се за израду насипа користе следећи материјали:

- за слојеве дубине > 2,0m испод планума насипа (почетне коте прелазног слоја) – локални материјал механички стабилизован,
- за слојеве дубине < 2,0m испод планума насипа (почетне коте прелазног слоја) – некохерентни материјал (песак, шљунак или дробљени аграгат) или локални кохерентни материјал стабилизован хидрауличним везивом.

За материјал који ће се користити за изградњу насипа обавезно је претходно испитивање и испуњавање следећих услова.

Материјали који се уграђују у насип морају бити у складу са стандардима SRPS U.E8.010. и SRPS U.E1.010, као и препорукама „Путева Србије“ (*Република Србија, Пројекат рехабилитације транспорта - Тенички услови за грађење путева у републици Србији, 2. Посебни технички услови, 2.2 Земљани радови*).

За невезане материјале:

- крупноћа зрна не сме бити већа од 40 cm у читавом насипу изузев завршног слоја постељице насипа где најкрупније зрно не сме бити веће од 10 cm,
- степен неравномерности U= $\frac{d_{60}}{d_{10}}$ не сме бити мањи од 9,
- каменито тло за израду насипа мора бити од стенских маса постојаних на атмосферске утицаје и ове услове морају да испуне и мешовити материјали према тачки 2.2.4 стандарда SRPS U.E1.010.

За везане материјале:

- максимална запреминска тежина одређена по Проктору мора бити већа од 15,5 kN/m$^3$,
- оптимална влажност ($w_{opt}$) мора бити мања од 25%,
- влажност материјала за израду насипа при уградњи мора бити блиска оптималној +/- 2%,
- граница течења ($w_L$) мора бити мања од 35%,
- индекс пластичности ($I_p$) мора бити мањи од 12%,
- садржај органских материја мора бити мањи од 6%,

За материјале стабилизоване хидрауличним везивом:

- Испитивање претходне мешавине са израдом пробне деонице, у свему према стандарду SRPS EN 14227-15 *Мешавине везане хидрауличним везивом - Спецификације - Део 15: Тла стабилизована хидрауличним везивом*

**Захтевани критеријуми за носивост насипа**

| Положај слоја | Ранг пруге/ Дубина слоја | $E_{v2}$ | $E_{vd}$ | | $D_{pr}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | [N/mm$^2$] | [N/mm$^2$] | | [%] |
| | | | GU, GP, GW, GF, SP, SW | све друге врсте тла | |
| На нивоу планума насипа | Магистрална/регионална[1)] | 60 | 30 | | 100 |
| Слојеви насипа на дубини испод планума насипа | ≤ 2,0m | 45 | 25 | | 100 |
| | > 2,0m | 20 | 20 | | 95 |
| | У усеку | 20[2)]-45[1)] | 20[2)] - 25[1)] | | 95 |

### 6.3.3 Израда прелазног слоја

Прелазни слој представља збијен или побољшан слој израђен од крупнозрног шљунчаног или песковитог материјала и заједно са заштитним слојем формира заштиту од мраза.

У прелазном слоју не могу се уграђивати глиновити материјали нити материјали који могу да се сабијају и консолидују.

Материјали који се уграђују у прелазни слој морају да испуњавају следеће услове:

- материјал отпоран на капиларно пењање;
- невезани агрегат, величине зрна 0/125 mm;
- проценат зрна агрегата испод 0,063 mm < 12%;
- проценат зрна агрегата испод 0,02 mm < 5%;
- U ≥ 15 не садржи више од 3% фракција мањих од 0,02 mm и U ≤ 5 не садржи више од 10% фракција мањих од 0,02 mm.

Материјал у прелазном слоју треба да испуњава филтерске критеријуме у односу на нижележећи или да буде заштићен употребом вештачких материјала за филтер, као што су геотекстили.

**Захтевани критеријуми за носивост**

| Положај слоја | Ранг пруге/ Дубина слоја | $E_{v2}$ | $E_{vd}$ | | $D_{pr}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | [N/mm$^2$] | [N/mm$^2$] | | [%] |
| | | | GU, GP, GW, GF, SP, SW | све друге врсте тла | |
| На нивоу планума прелазног слоја | Магистрална | 80 | 40 | 35 | 100 |

### 6.3.4 Израда заштитног слоја

Након контроле збијености и планирања прелазног слоја, са пројектованим попречним и подужним нагибима, приступити изградњи заштитног слоја.

Заштитни слој има функцију да побољша носивост и да спречи утицај мраза и појаву капиларног пењања воде, као и да обезбеди пропусност воде као филтер из горњих слојева. Заштитни слој израдити од некохерентног материјала минималне дебљине 30 cm.

Материјали који се уграђују у заштитни слој морају да испуњавају следеће услове:

- пречник зрна који припада ординати 15% гранулометријске криве заштитног слоја мора бити четири пута мањи од величине зрна код ординате 85%, d85 ≥ 4 × d15;
- максимална величина зрна треба да је ≤ 60 mm;
- степен неравномерности U= $\frac{d_{60}}{d_{10}}$ ≥ 15;
- коефицијент водопропустљивости треба да буде k ≥ $10^{-4}$ m/s при $D_{pr}$=100%, што обезбеђује да процедна крива треба да заврши у заштитном слоју на косини насипа или одводног јарка при максималним падавинама.
- Проценат фракције 0,02 mm, max 3%.

**Захтевани критеријуми за носивост**

| Положај слоја | Ранг пруге/ Дубина слоја | $E_{v2}$ | $E_{vd}$ | | $D_{pr}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | [N/mm²] | [N/mm²] | | [%] |
| | | | GU, GP, GW, GF, SP, SW | све друге врсте тла | |
| На нивоу планума заштитног слоја / планум пруге | Магистрална | 120 | 50 | | 100 -103 |

На дијаграму су дате граничне линије унутар којих се мора налазити крива гранулометријског састава која испуњава услове заштитног слоја.

Дијаграм 3

Материјал у заштитном слоју треба да испуњава филтерске критеријуме у односу на нижележећи или да буде заштићен употребом вештачких материјала за филтер, као што су геотекстили.

Након изградње заштитног слоја неопходна је израда засторне призме. Застор урадити од туцаника прописаних карактеристика, са овереним атестом о квалитету, прописане крупноће. Минимална дебљина застора испод доње ивице прага (ДИП) износи 30,0 cm.

6.3.5 Израда усека

На делу трасе где се изградња трупа предвиђа у усеку, предвидети откоп и уклањање хумуса, даљи откоп до одговарајуће коте.

На деловима где је нивелета таква да је пруга пројектована у усеку, темљно тло ће представљати подлогу прелазном слоју – постељицу. У том случају услови носивости темељног тла се пооштравају до нивоа испуњености услова материјала за уградњу у постељицу - SRPS U.E8.010, и услова за дозвољену носивост - $Ev_2$= 60 MN/m$^2$ или Sd > 100%, CBR = 15 %. У случају неиспуњавања критеријума извршити мере санације тла (применом геосинтетика, заменом материјала од песковитог шљунка или ломљеног камена, као и стабилизацијом хидрауличним везивом-цемент, креч, пепео).

**Захтевани критеријуми за носивост темељног тла у усеку - постељице**

| Положај слоја | Ранг пруге/ Дубина слоја | $E_{v2}$ | $E_{vd}$ | | $D_{pr}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | [N/mm$^2$] | [N/mm$^2$] | | [%] |
| | | | GU, GP, GW, GF, SP, SW | све друге врсте тла | |
| На нивоу планума насипа[3)] | Магистрална/регионална[1)] | 60 | 30 | | 100 |

Код дубоких усека потребно је предвидети заштиту косина од ерозије и обрушавања. Препоручује се заштита косина хумизирањем.

**Ниво подземне воде је релативно висок, утврђен на дубини од 1 – 3 m испод површине, у депресијама и испод 1m. Релативно висок ниво подземне воде представља геотехничко ограничење у оквиру ове деонице.**

У усеку обезбедити привремено и трајно одводњавање трупа пруге, то јест предвидети дренажне системе и канале за одводњавање. Испод косина усека извести канале за прихватање атмосферских вода и вода из трупа пруге.

6.3.6 Геостатички прорачуни

У циљу утврђивања стабилности косина насипа и усека, прогнозних слегања и консолидације подтла урађени су геостатички прорачуни.

Прорачуни су урађени за карактеристичне геотехничке моделе терена – попречне пресеке који су препознати као најкритичнији за извођење и каснију експлоатацију пруге (Прилог 3). Прорачуни су урађени и за карактеристичан пресек денивелације – преласка објеката преко пруге.

Физичко-механички параметри тла су усвојени на основу синтезе лабораторијских резултата и резултата добијених in situ – CPT и SPT опити.

Прорачуни су у свему урађени према важећим стандардима и прописима у софтверском пакету Geo 5.

Анализа стабилности косина насипа и усека

На основу усвојених вредности физичко-механичких карактеристика тла, за различите висине изведени су геостатички прорачуни стабилности косина насипа и усека. Усвојено је оптерећење од 52 kPa. За минимални дозвољени фактор усвоојено је Fs>1,4 а на основу прописа SRPS U.C4.200.

Ови прорачуни су изведени за услове граничне равнотеже, методама Bishopa и Morgensten/Price.

Геотехнички модели терена:

| Ознака модела | Висина m | Нагиб | Фактор сигурности Bishop/M.Price | Напомена |
|---|---|---|---|---|
| Насип - нов km 170+100 | 2 | Од планума насипа 3m – 1:1.5 | 1,55/1,55 | **Фактор сигурности задовољавајући.** Насип изградити од некохерентног материјала уз обавезн заштиту косина. |
| Усек km 177+600 | 6,5 | 1:1,75 | 1,19/1,17 | **Фактор сигурности незадовољавајући.** Због високог нивоа подземне воде неопходно је ублажити косине усека, применити мере дренаже и обарања нивоа подземне воде или применити неку потпорну конструкцију |
| Карактеристични модел за денивелације | 8 | Од планума насипа 3m – 1:1.5 Даље 1:1,75 | Кохерентни материјал: 1,5/1,5 Некохерентни материјал 1,41/1,41 | **Фактор сигурности задовољавајући.** Насип изградити од некохерентног материјала уз обавезн заштиту косина. |

Слегање насипа:

За карактеристичне геотехничке моделе терена – високе насипе урађени су прорачуни слегања и конолидације подтла. Резултати су приказана и коментарисани у табели:

| Ознака модела | Висина m | Нагиб | Укупно слегање (cm) / Консолидација | Напомена |
|---|---|---|---|---|
| Насип - нов km 170+100 | 2 | Од планума насипа 3m – 1:1.5 | 10 cm, у току изградње | Насип изградити од некохерентног материјала уз обавезн заштиту косина. |
| Карактеристични модел за денивелације | 8 | Од планума насипа 3m – 1:1.5 Даље 1:1,75 | 40 cm, у току изградње | Насип изградити од некохерентног материјала уз обавезн заштиту косина. |
| Карактеристични модел за денивелације зона града Суботице | 8 | Од планума насипа 3m – 1:1.5 Даље 1:1,75 | 65 cm, у току изградње | Насип изградити од некохерентног материјала уз обавезн заштиту косина. За зону Суботице, појава стишљивих партија на дубини од 8 до 15m што изазива повећано слегање подтла за високе насипе. |

- Кохерентни материјал који се користи за изградњу/доградњу насипа мора да задовољава следеће услове/параметре у збијеном стању: $\gamma$=19 kN/m$^3$, c'=10 kPa, $\varphi$=23$^0$,
- Некохерентни материјал који се користи за изградњу насипа мора да задовољава следеће услове/параметре у збијеном стању: $\gamma$=19 kN/m$^3$, c'=1 kPa, $\varphi$=36$^0$,

**За градску зону Суботице до границе са Мађарском посебно треба обратити пажњу на стишљиве партије муљевите глине која се појављује од око 8 до 15 m од површине терена, а која може негативно да утиче на слегање и консолидацију тла испод насипа.**

Ове анализе су прелиминарне, а коначне ће бити урађене на дефинитивно усвојеном трупу саобраћајнице и дакон допуњених истаживања за ниво Пројекта за грађевинску дозволу.

# 7 ЗАКЉУЧАК

Деоница од Наумовићева једним кратким делом (до Александрова) је положена преко слабо глиновитих прашина – леса ($Q_1$l). Геотехнички услови изградње трасе за овај део приказани су у извештају за предходну деоницу. Другим делом (подручје града Суботице), траса је положена преко алувијалних глиновито-песковитих прашина ($Q_1$al). У последњем делу деонице, након изласка из станице, траса је положена на комплекс еолских пескова суботичке пешчаре – песак ($Q_1$p).

**Ниво подземне воде** у терену је утврђен на дубини од око 3 m од површине терена, а даље до краја деонице ниво подземне воде у терену је утврђен на дубини од 1- 3 m од површине терена што узрокује условно повољне услове.

**Дебљина слоја хумифицираног тла**, достиже дебљину од 1-1.5m, а слој чистог хумуса (са садржајем органске компоненте >6%) има дебљину до 0,5 m. Са обе стране пружног насипа, у зонама постојећих путних прелаза и нарочито железничких станица, депонована је значајна количина насутог и прерађеног тла, по правилу некатегорисаног земљаног материјала и отпада.

Слојеви глиновито прашинастих материјала (ознака $Q_1$al) са класификационим симболима CL и ML – глине и прашине ниске пластичности, заступљени су у површинским деловима терена, до дубине 5 – 7 метара од површине. За ове материјале карактеристична су велика одступања по параметру збијености, па се на основу тога одређује њихова подобност за подтемељно тло. У зони суботичке депоније комуналног отпада констатоване су партије слабоносивог тла меке консистенције – комплекса слатине ($Q_2$pd). Еолски пескови ($Q_1$p) по својим индентификационо – класификационим својствима задовољавају минимално прописане критеријуме, а коначна оцена о употребљивости ових материјала мора узети у обзир и допунске показатеље, тако да се и овде препоручује израда ојачане постељице. Подину еолских песковима чине стишљиве, слабо носиве партије прашинасте глине сиве боје, добељиве око 5m. Слојеви средње и добро збијених прашинастих и монотоних сивих пескова ($Q_1$al$^p$) са класификационим симболима SM и SP заступљени су на дубини >10 (20) m.

Уз наведене ставке деоница је декларисана као условно повољна у погледу услова пројектовања, извођења радова и трошкова градње железничке пруге.

**Изградњу насипа** вршити у фазама (насипање материјала и сабијање) како би се у свакој фази извршила консолидација подтла и како не би дошло да лома тла и нарушавања стабилности насипа.

Ако је потребно проширење постојећег насипа, оно се врши степенасто. Ширина степеника износи 0,6–1,0 m, висина ≤ 0,6 m а нагиб ≤ 5%. Потребно је користити материјал што сличнији постојећем материјалу у насипу, а у складу са приказаним стандардима. На контакту старог и новог насипа обезбедити збијеност као и ону која је потребна за израду насипа.

Косине високих насипа обезбедити од суфозије облагањем косина геотекстилом са хумусом или уградњом бетонских плоча. На осталом делу где су насипи висине до 3m, обавезно их треба обложити хумусом да би се спречили процеси линијске ерозије- спирања.

Све насипе обавезно треба обезбедити изградњом канала за одводњавање у ножицама насипа.

**Код усека** потребно је предвидети заштиту косина од ерозије и обрушавања. Препоручује се заштита косина хумизирањем.

У усеку обезбедити привремено и трајно одводњавање трупа пруге, то јест предвидети дренажне системе и канале за одводњавање. Испод косина усека извести канале за прихватање атмосферских вода и вода из трупа пруге.

За следећи ниво пројекта неопходно је извести додатне истражне радове којима ће се отклонити све дилеме око реконструкције и модернизације пруге и то за:

- Утврђивање што прецизнијих геотехничких услова дуж трасе пруге самониклог тла и трупа постојеће пруге,
- Утврђивања што прецизнијег нивоа и режима осцилирања подземних вода,
- Утврђивање што прецизнијих геотехничких услова на местима објеката виских насипа и усека а како би се изабрали што повољнији типови конструкције и како би се што прецизније утврдиле вредности слегања и консолидације тла,
- Утврђивање зона дуж трасе на којима би се вршила евентуална замена подтла неком од метода – кеокомпозитом, заменом материјала, употребом хемијске стабилизације,
- Утврђивање прецизнијих геомеханичких параметара и локација потенцијалних позајмишта материјала

Коначан обим и врста истраживања и испитивања даће се Пројектом истражних радова.

Одговорни пројектант:

Иван Стефановић, дипл.инж.геол.

лиценца бр. 391 N945 15

Геостатички прорачуни:

Милош Ранковић, дипл.инж.геол.

лиценца бр. 391 R298 18

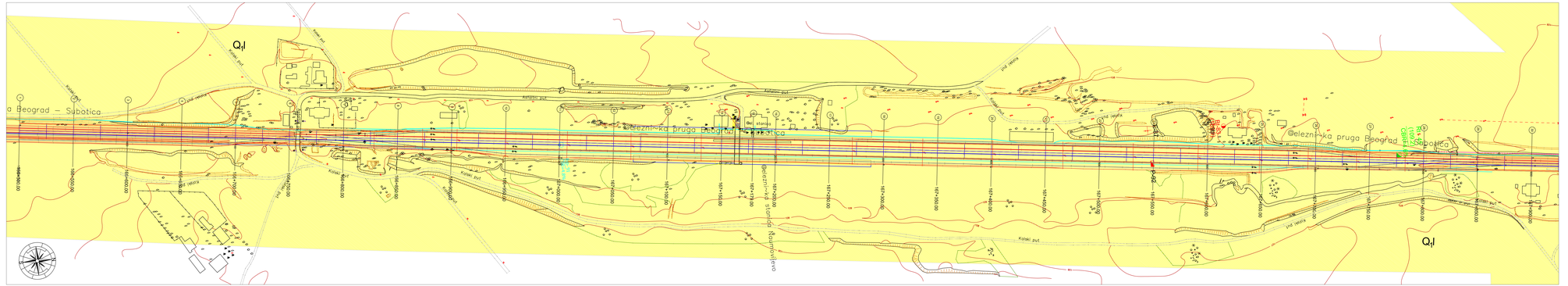
# 1.6 ГРАФИЧКА ДОКУМЕНТАЦИЈА

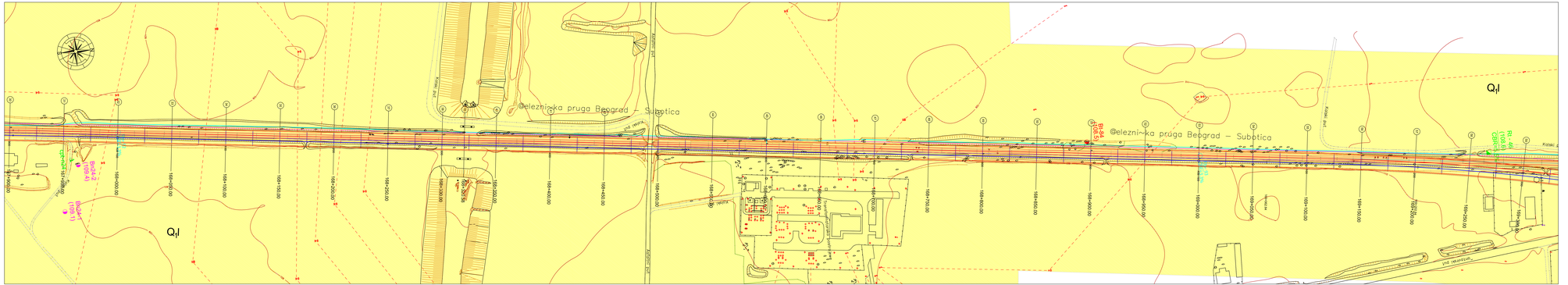
СПИСАК ПРИЛОГА

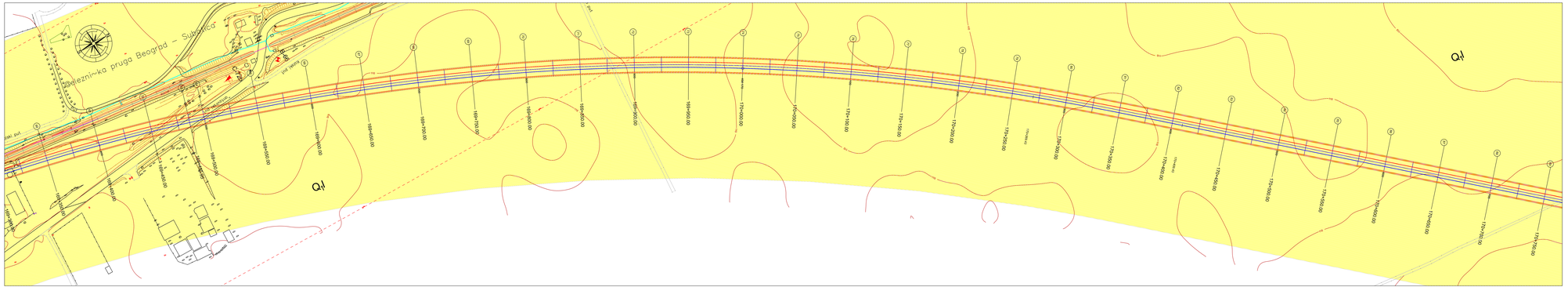
| ПРИЛОГ БР. | НАЗИВ |
|---|---|
| 1. | Инжењерскогеолошка карта са положајем истражних радова |
| 2. | Подужни геотехнички пресек |
| 3. | Попречни геотехнички пресеци |
| 4. | Геостатички прорачуни |

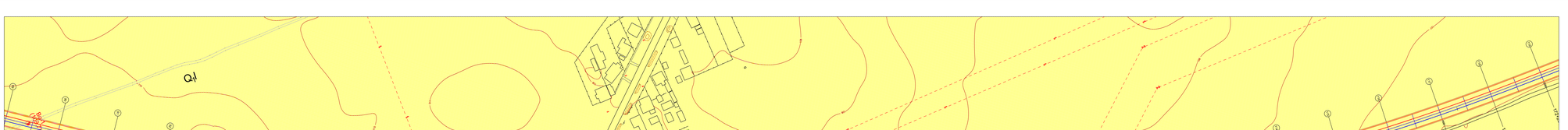
САОБРАЋАЈНИ ИНСТИТУТ ЦИП д.о.о
Немањина 6/IV, 11000 Београд

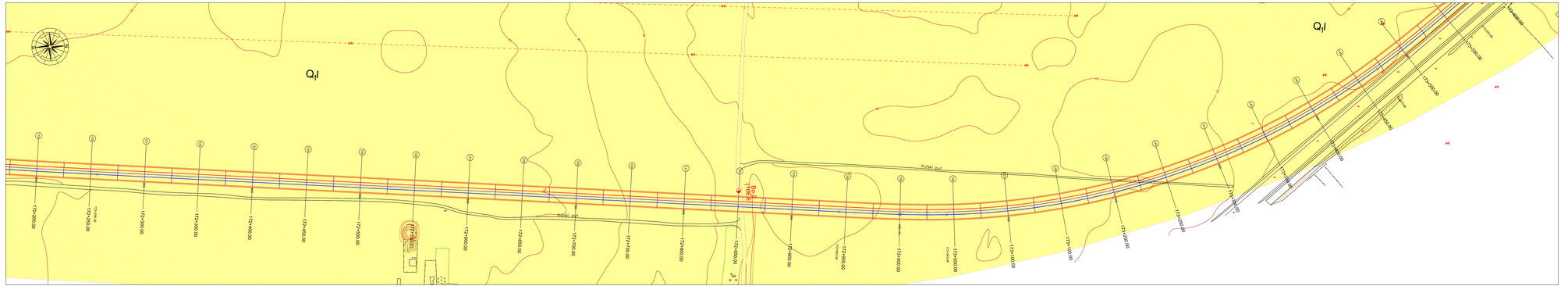
# Прилог 1
# Инжењераскогеолошка карта са положајем истражних радова

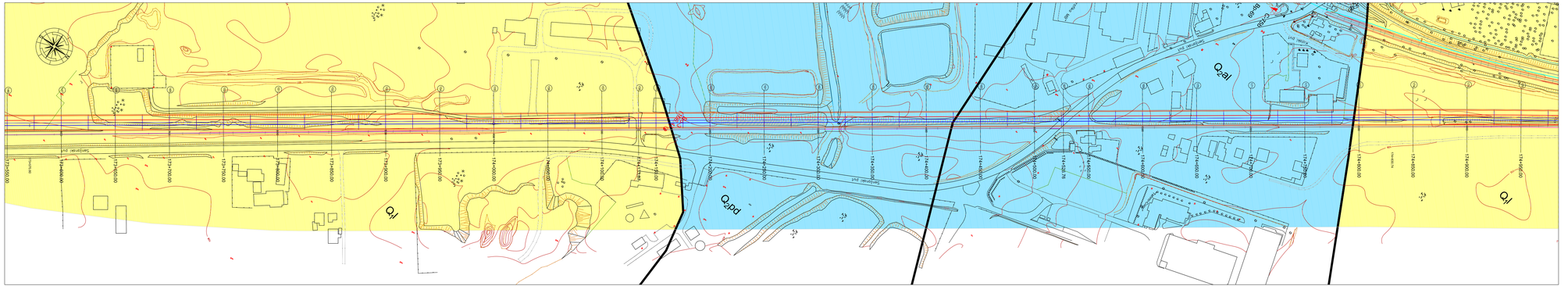

Q1
Kolski put
Železnička pruga Beograd – Subotica
Železnička pruga Beograd – Subotica
Kolski put
Kolski put
Kolski put

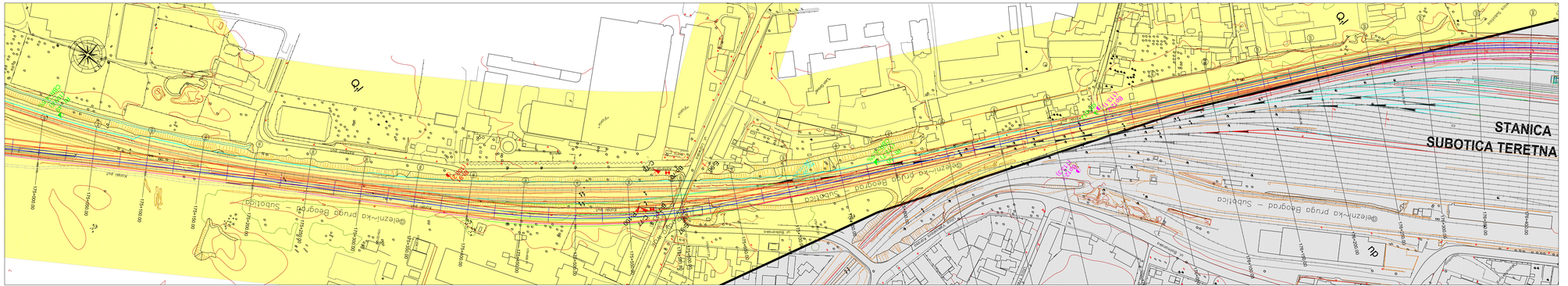

Železnička pruga Beograd – Subotica
Železnička pruga Beograd – Subotica
Ul. Nikole Tesle
Ul. Nikole Tesle
Kolski ulaz
Q4
Q4
Q4

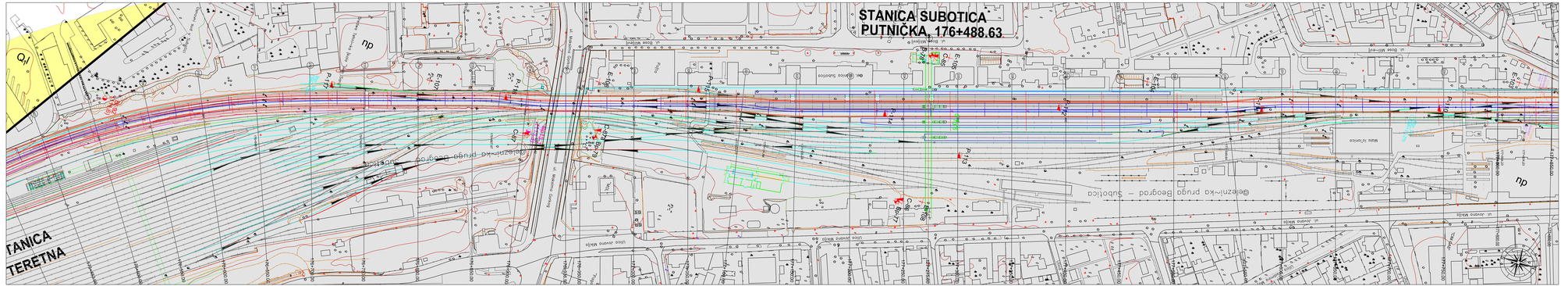

Železnič-ka pruga Beograd – Subotica
Q4
Q4
169+400.00
169+450.00
169+500.00
169+550.00
169+600.00
169+650.00
169+700.00
169+750.00
169+800.00
169+850.00
169+900.00
169+950.00
170+000.00
170+050.00
170+100.00
170+150.00
170+200.00
170+250.00
170+300.00
170+350.00
170+400.00
170+450.00
170+500.00
170+550.00
170+600.00
170+650.00
170+700.00
170+750.00
170+800.00
170+850.00
170+900.00
170+950.00
171+000.00
171+050.00
171+100.00
171+150.00
171+200.00
171+250.00
171+300.00
171+350.00
171+400.00
171+450.00
171+500.00
171+550.00
171+600.00
171+650.00
171+700.00
171+750.00
171+800.00
171+850.00
171+900.00
171+950.00
172+000.00
172+050.00
172+100.00
172+150.00
172+200.00
172+250.00
172+300.00
172+350.00

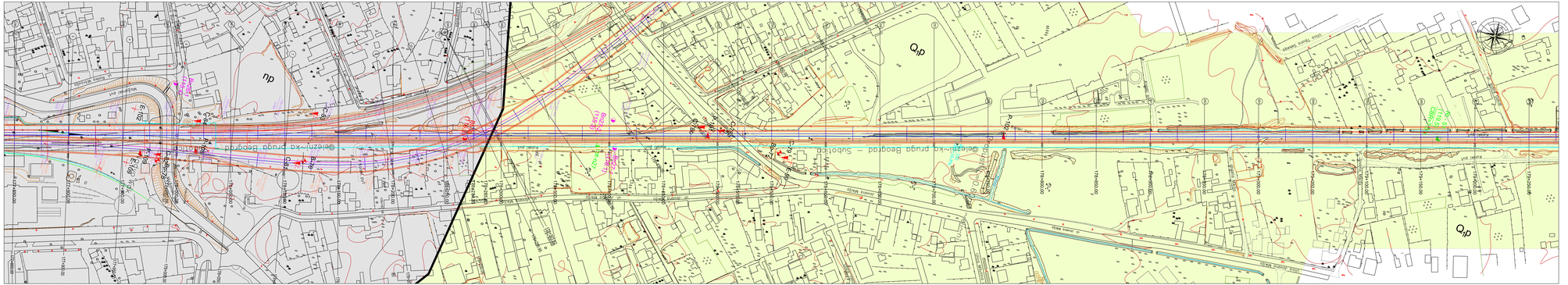

Q4
Q4
Kolski put
Kolski put
17+000.00
17+050.00
17+100.00
17+150.00
17+200.00
17+250.00
17+300.00
17+350.00
17+400.00
17+450.00
17+500.00
17+550.00
17+600.00
17+650.00
17+700.00
17+750.00
17+800.00
17+850.00
17+900.00
17+950.00
17+978.81
18+000.00
18+050.00
18+100.00
18+150.00
18+200.00
18+250.00
18+300.00
18+350.00
18+400.00
18+450.00
18+500.00
18+550.00
18+600.00
18+650.00
18+700.00
18+750.00
18+800.00
18+850.00
18+900.00
18+950.00
19+000.00
19+050.00
19+100.00
19+150.00
19+200.00
19+250.00
19+300.00
19+350.00
19+400.00
19+450.00
19+500.00
19+550.00
19+600.00
19+650.00
19+700.00
19+750.00
19+800.00
19+850.00
19+900.00
19+950.00
20+000.00
20+050.00
20+100.00
20+150.00
20+200.00
20+250.00
20+300.00
20+350.00
20+400.00
20+450.00
20+500.00
20+550.00
20+600.00
20+650.00
20+700.00
20+750.00
20+800.00
20+850.00
20+900.00
20+950.00

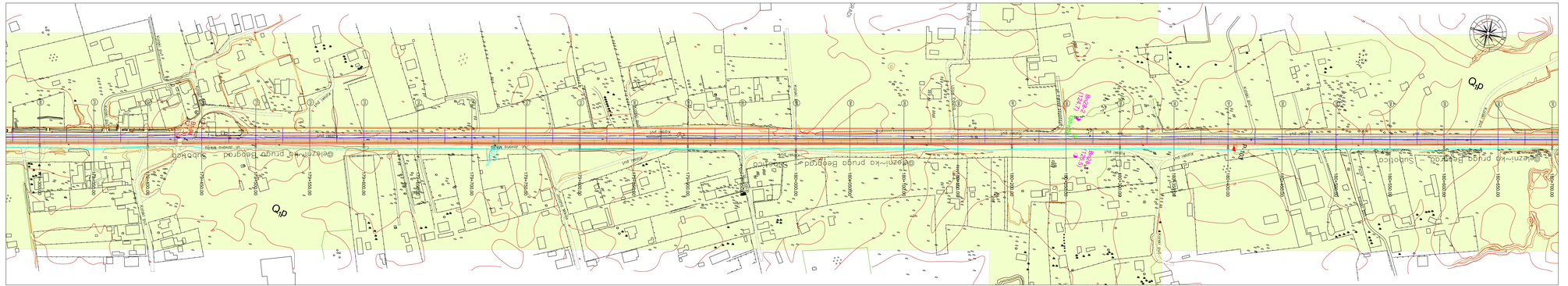

Q4l
Km0+000.00
Km1+000.00
Km2+000.00
Km3+000.00
Km4+000.00
Km5+000.00
Km6+000.00
Km7+000.00
Km8+000.00
Km9+000.00
Km10+000.00
Km11+000.00
Km12+000.00
Km13+000.00
Km14+000.00
Km15+000.00
Km16+000.00
Km17+000.00
Km17+200.00
Km17+400.00
Km17+600.00
Km17+800.00
Km18+000.00
Km18+200.00
Km18+400.00
Km18+600.00
Km18+800.00
Km19+000.00
Km19+200.00
Km19+400.00
Km19+600.00
Km19+800.00
Km20+000.00
Km20+200.00
Km20+400.00
Km20+600.00
Km20+800.00
Km21+000.00
Km21+200.00
Km21+400.00
Km21+600.00
Km21+800.00
Km22+000.00
Km22+200.00
Km22+400.00
Km22+600.00
Km22+800.00
Km23+000.00
Km23+200.00
Km23+400.00
Km23+600.00
Km23+800.00
Km24+000.00
Km24+200.00
Km24+400.00
Km24+600.00
Km24+800.00

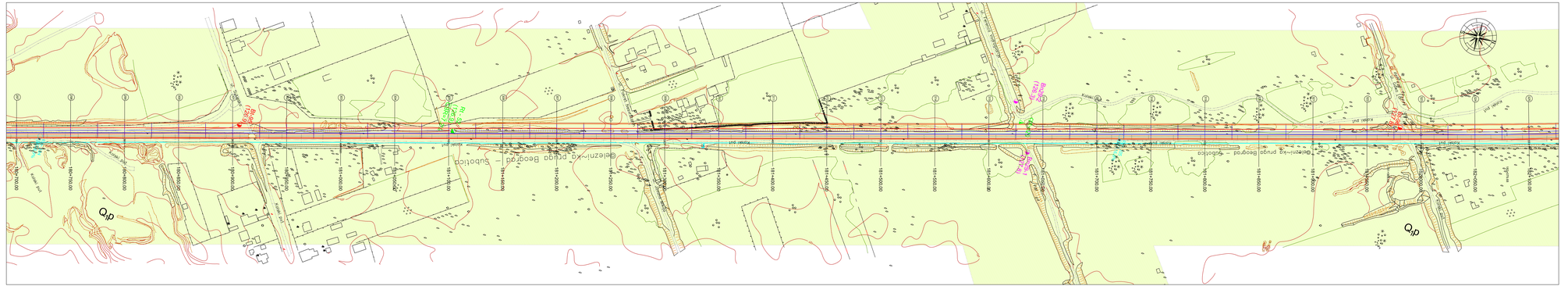

Q4l
Q2pd
Q2al
Q4l
Stari Sen'kin put
Stari Sen'kin put
Stari Sen'kin put

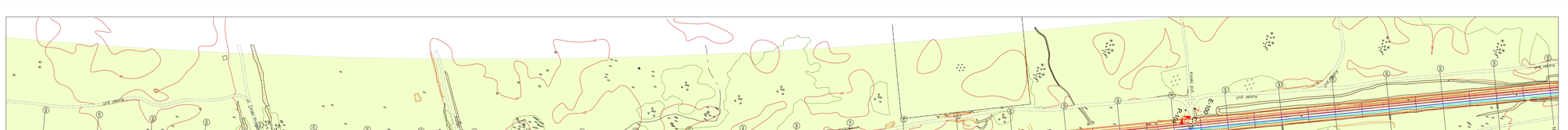

STANICA
SUBOTICA TERETNA
Železn~ka pruga Beograd – Subotica
Železn~ka pruga Beograd – Subotica
Q4
Q4
Q4

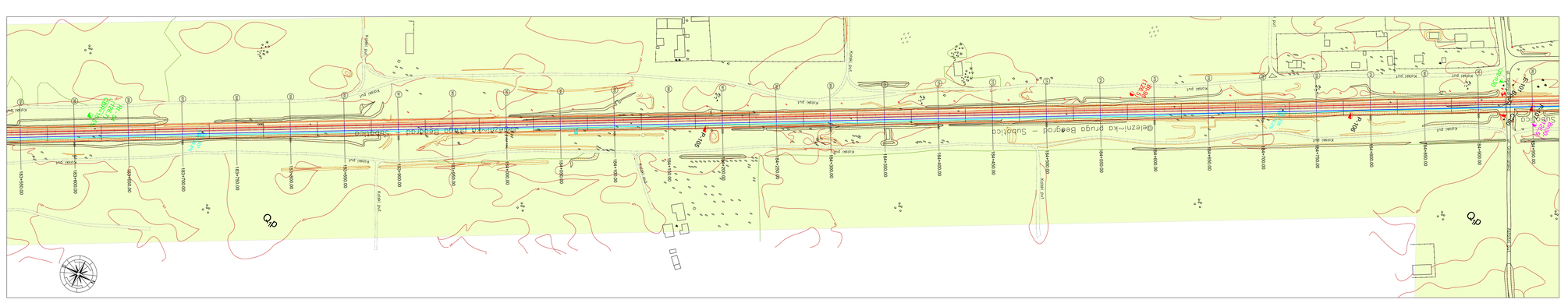

STANICA SUBOTICA
PUTNIČKA, 176+488.63
TANICA
TERETNA
Železnička pruga Beograd – Subotica
ul. Jovana Mikića
ul. Dositeja Obradovića
ul. Maršala Tita
ul. Stevana Sremca
ul. Save Kovačevića
ul. Kosovska
ul. Vase Stajića
Mido Kunovac
Mido Tomović
Mido Kujundžić
Mido Popović
Mido Vojnović
Mido Kujundžić
Mido Tomović
Mido Kunovac


Qp
Qp
Qp


Q4p
Q4p
Q4p

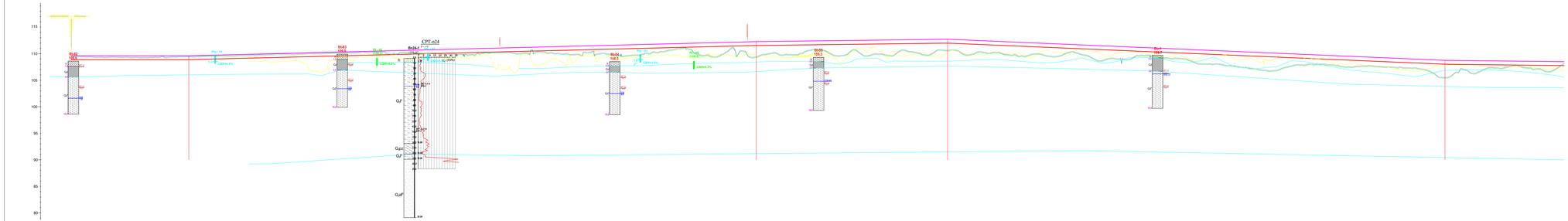

Q1p
Q4p
Q4p
Q1p
Q4p
Q4p
Q4

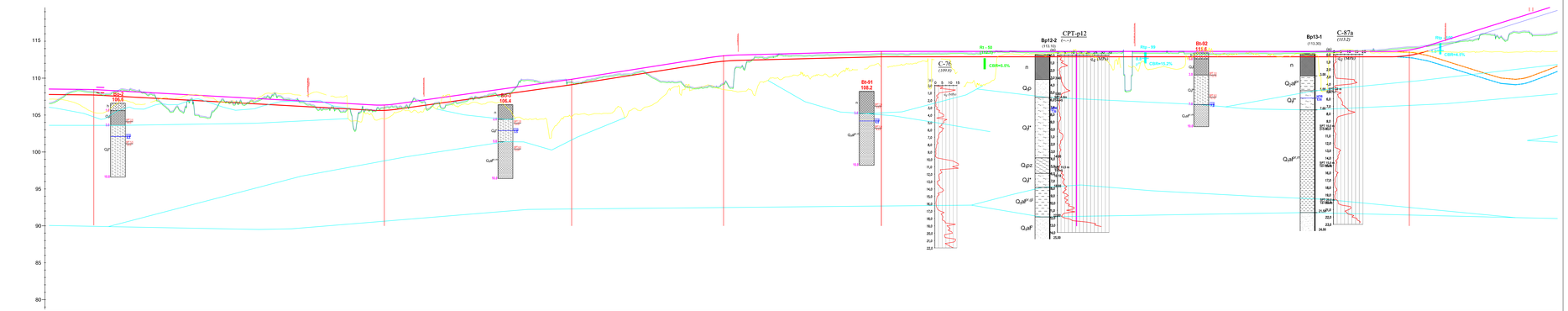

QIP
QIP
QIP
Kolski put
Kolski put
Kolski put


Железничка пруга Београд – Суботица
Железничка пруга Београд – Суботица
Железничка пруга Београд – Суботица

САОБРАЋАЈНИ ИНСТИТУТ ЦИП д.о.о
Немањина 6/IV, 11000 Београд

# Прилог 2
# Подужни геотехнички пресек


Bs.82
Bs.83
Bs.84
Bs.85
Bs.86
Bs.87
CPT-n24
Bs84-1
Bs 84-1**
Bs 84-2**
Qf
Qpc
Qaf
Bs
Gr
Sd
Cl
Mr
Bs - 30
1.5%
Bs - 31
Bs - 32
Bs - 33
Bs - 34
Bs - 35
Bs - 36
Bs - 37
Bs - 38
Bs - 39
Bs - 40
Bs - 41
Bs - 42
Bs - 43
Bs -




КОТЕ ПРОЈЕКТОВАНОГ СТАЊА

КОТЕ ТЕРЕНА

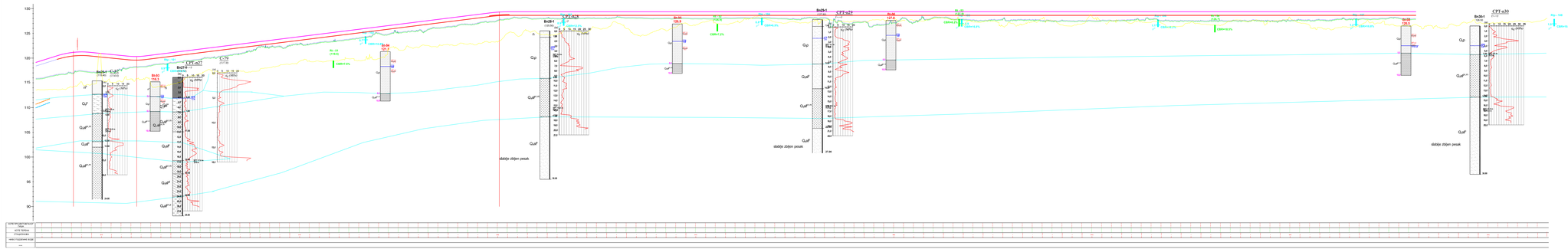
СТАЦИОНАЖА

НИВО ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ

---

## Легенда геотехничких јединица

| Старост / Age | Генеза / Genesis | Ознака за цртеж | Ознака за елаборат | Опис |
|---|---|---|---|---|
| КВАРТАР / QUATERNARY | Антропогени / Anthropogenic | | 1 | АНТРОПОГЕНИ НАНОСИ (насип) - насипи различитог састава и порекла настали вештачким путем, са променљивим својствима, различитог степена збијености и водопропусности. |
| | | | 1* | ТЕХНОГЕНИ НАНОСИ - Културни наслојени материјал дебеле целине (Калемегдан тврђава, Београдска тврђава, Стари Београд, Дорћол, Савамала, Врачар, Палилула, Земун и Нови Београд). Различитог састава и својстава. |
| | Делувијум / Deluvium | | 2 | ДЕЛУВИЈУМ (Bp1/dp1) - Глиновито-песковити прашинасти материјал, са повременом појавом шљунка и камена. Мешовитог састава, променљивих својстава, средње до ниске збијености. |
| | Алувијум / Alluvium | | 3 | Алувијум (Bp1/al) - Песковито-шљунковити материјал са повременом појавом глиновитих сочива. Променљивих својстава, средње до ниске збијености. |
| | | | 4 | Алувијум (Bp2/al) - Песковито-шљунковити материјал са повременом појавом глиновитих сочива. Променљивих својстава, средње до ниске збијености. |
| | | | 5 | Алувијум (Bp3/al) - Песковито-шљунковити материјал са повременом појавом глиновитих сочива. Променљивих својстава, средње до ниске збијености. |
| | | | 6 | Алувијум (Bp4/al) - Песковито-шљунковити материјал са повременом појавом глиновитих сочива. Променљивих својстава, средње до ниске збијености. |
| | Алувијум / Alluvium | | 7 | Алувијум (Bp5/al) - Песковито-шљунковити материјал са повременом појавом глиновитих сочива. Променљивих својстава, средње до ниске збијености. |
| | Еолијум / Aeolian | | 8 | Еолијум (Bp6/e) - Глиновито-прашинасти до глиновито-песковити, са повременом појавом шљунка и камена. Мешовитог састава, променљивих својстава, средње до ниске збијености. |
| | Алувијум / Alluvium | | 9 | Алувијум (Bp7/al) - Песковито-шљунковити материјал са повременом појавом глиновитих сочива. Променљивих својстава, средње до ниске збијености. |
| | Алувијум / Alluvium | | 10 | Алувијум (Bp8/al) - Песковито-шљунковити материјал са повременом појавом глиновитих сочива. Променљивих својстава, средње до ниске збијености. |
| | Алувијум / Alluvium | | 11 | Алувијум (Bp9/al) - Песковито-шљунковити материјал са повременом појавом глиновитих сочива. Променљивих својстава, средње до ниске збијености. |
| | Алувијум / Alluvium | |

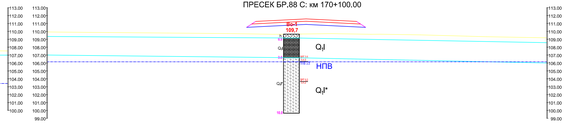

CPT-n57
Bs57-1
CPT-n52
Bs52-1
CPT-n53
Bs53-1
CPT-n22
Bs22-1
CPT-n30
Bs30-1
Bs54-1
Bs55-1
Bs56-1
Bs29-1
Bs31-1
Bs32-1
Bs33-1
Bs34-1
Bs35-1
Bs36-1
Bs37-1
Bs38-1
Bs39-1
Bs40-1
Bs41-1
Bs42-1
Bs43-1
Bs44-1
Bs45-1
Bs46-1
Bs47-1
Bs48-1
Bs49-1
Bs50-1
Bs51-1
Bs58-1
Bs59-1
Bs60-1
Bs61-1
Bs62-1
Bs63-1
Bs64-1
Bs65-1
Bs66-1
Bs67-1
Bs68-1
Bs69-1
Bs70-1
Bs71-1
Bs72-1
Bs73-1
Bs74-1
Bs75-1
Bs76-1
Bs77-1
Bs78-1
Bs79-1
Bs80-1
Bs81-1
Bs82-1
Bs83-1
Bs84-1
Bs85-1
Bs86-1
Bs87-1
Bs88-1
Bs89-1
Bs90-1
Bs91-1
Bs92-1
Bs93-1
Bs94-1
Bs95-1
Bs96-1
Bs97-1

САОБРАЋАЈНИ ИНСТИТУТ ЦИП д.о.о
Немањина 6/IV, 11000 Београд

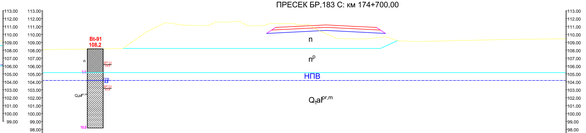
# Прилог 3
# Попречни геотехнички пресеци

ПРЕСЕК БР.25 С: км 166+950.00

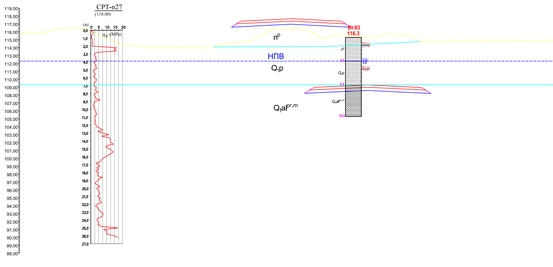
ПРЕСЕК БР.88 С: км 170+100.00



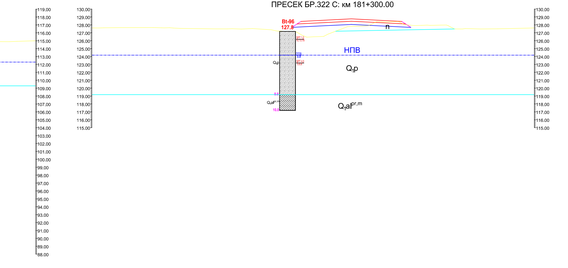

ПРЕСЕК БР.183 С: км 174+700.00



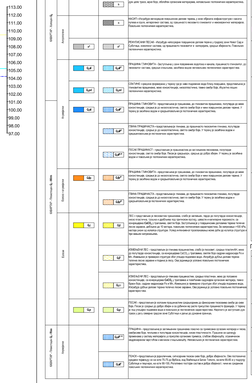

ПРЕСЕК БР.246 С: км 177+600.00



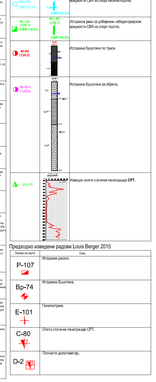

ПРЕСЕК БР.322 С: км 181+300.00




Легенда геотехничких јединица




Извођени истражни радови ЦИП 2017 - И1




Предходно извођени радови Louis Berger 2015




| | | | |
|---|---|---|---|
| 03 | | | |
| 02 | | | |
| 01 | | | |
| Број/Number | Датум / Date | Опис / Description | |

**Ревизиони блок:** / Revision block:


**САОБРАЋАЈНИ ИНСТИТУТ ЦИП, д.о.о.**
INSTITUTE OF TRANSPORTATION CIP ltd
**Немањина 6; 11000 Београд; Србија**
**Тел: 011/3618-134; факс: 011/3618-324; web site: www.sicip.co.rs**

**Организациона јединица:ЗАВОД ЗА ГЕОТЕХНИКУ**/Organization unit:DEPARTMENT OF GEOTECHNICS

Овлашћено лице: /Responsible designer:
лиценца број / license No.: 301, 10945 15
**Иван Стефановић, дипл.инж.геол.**

Сарадници: / Associates:
**Душан Богдановић, геол.техн.**


Инвеститор / Investor:
**ДРЖАВНА АГЕНЦИЈА ЗА ЖЕЛЕЗНИЦЕ СТАД - INFRASTRUCTURE RAILWAYS OF SERBIA - AD**
Немањина 6/II, Београд, Република Србија

Наручилац пројекта / Employer:
**Ministry of construction, transport and infrastructure**
**Немањина 22-26, 11000 Београд, Србија**
**web site: www.mgsi.gov.rs**
**Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре**
**Немањина 22-26, 11000 Београд, Србија**
**web site: www.mgsi.gov.rs**

Објекат: / Object:
**МЕЂУНАРОДНА ЖЕЛЕЗНИЧКА ПРУГА**
**БЕОГРАД - СУБОТИЦА - ДРЖАВНА ГРАНИЦА (ЖЕЛЕЗНАЦ)**
**(МАЂАРСКА ГРАНИЦА) - СУБОТИЦА - ДРЖАВНА ГРАНИЦА (ЖЕЛЕЗНАЦ)**
BELGRADE - SUBOTICA - STATE BORDER (KELEBIA) RAILWAY LINE
BELGRADE - SUBOTICA - STATE BORDER (KELEBIA)

Део пројекта / Part of Design:
**ГЕОТЕХНИЧКИ ЕЛАБОРАТ- ГЕОТЕХНИЧКИ УСЛОВИ**
**ИЗГРАДЊА ЗА ТРАСУ, деонице: Нови Кнежевац – Суботица - државна граница**

GEOTECHNICAL REPORT FOR CONSTRUCTION OF LINE PART - section: Novi Kneževac - Subotica - state border

Унутрашња контрола: / Internal control:

Главни пројектант: / Chief designer:
**Милан Јелић, дипл.грађ.инж.**

Руководилац организационе јединице:
Manager of organization unit:
**Владимир Филиповић, дипл.инж.геол.**

Цртеж: / Drawing:
**ПОПРЕЧНИ ГЕОТЕХНИЧКИ ПРЕСЕЦИ**
**CROSS SECTIONS**

Размера: Scale: 1:250

Врста пројекта: Main Design / Project: **ИДП / PD**

Датум / date: **2018.**

Цртеж бр. /Drawing No.: 2017-783-FED-I1-1-4.1-Д.1

САОБРАЋАЈНИ ИНСТИТУТ ЦИП д.о.о
Немањина 6/IV, 11000 Београд

# Прилог 4
# Геостатички прорачуни

# Slope stability analysis

## Input data

### Soil parameters

**Q1 al p,pr**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | effective | | |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ | = | 33,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ | = | 0,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 20,00 kN/m$^3$ |

**Q1 al p**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | effective | | |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ | = | 35,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ | = | 0,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 20,00 kN/m$^3$ |

**n-1**

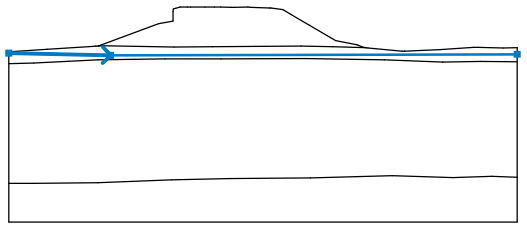
| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | effective | | |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ | = | 23,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ | = | 10,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 20,00 kN/m$^3$ |

**np**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | effective | | |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ | = | 30,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ | = | 0,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 20,00 kN/m$^3$ |

### Water

Water type : GWT

| No. | GWT location | Coordinates of GWT points [m] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | x | z | x | z | x | z |
| 1 |  | 0,00 | 23,48 | 12,04 | 23,24 | 60,00 | 23,36 |

## Results (Stage of construction 2)

### Analysis 1 (stage 2)

**Circular slip surface**

| Slip surface parameters | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Center : | x = | 41,49 | [m] | Angles : | $\alpha_1$ = | -49,72 | [°] |
| | z = | 38,93 | [m] | | $\alpha_2$ = | 9,63 | [°] |
| Radius : | R = | 15,19 | [m] | | | | |
| The slip surface after optimization. | | | | | | | |



[GeoStructural Analysis - Slope Stability | version 5.19.5.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

**Slope stability verification (Bishop)**
Sum of active forces : $F_a$ = 262,06 kN/m
Sum of passive forces : $F_p$ = 368,57 kN/m

Sliding moment : $M_a$ = 3980,68 kNm/m
Resisting moment : $M_p$ = 5598,59 kNm/m
Factor of safety = 1,41 > 1,40
**Slope stability ACCEPTABLE**

## Analysis 2 (stage 2)

**Circular slip surface**

| Slip surface parameters | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Center : | x = | 41,47 | [m] | Angles : | $\alpha_1$ = | -48,99 | [°] |
| | z = | 39,17 | [m] | | $\alpha_2$ = | 8,09 | [°] |
| Radius : | R = | 15,33 | [m] | | | | |
| The slip surface after optimization. | | | | | | | |

**Slope stability verification (Morgenstern-Price)**
Factor of safety = 1,43 > 1,40
**Slope stability ACCEPTABLE**



[GeoStructural Analysis - Slope Stability | version 5.19.5.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

# Slope stability analysis

## Input data

### Project

Task : Geotehnicki elaborat za Idejni projekat za izgradnju zeleznicke pruge Beograd-Subotica
Part : Deonica Novi Sad - Subotica, km 77+735 nasip nadogradnja H=5m
Date : 23.1.2019.

### Soil parameters

**Q1 al p,pr**

| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 33,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 0,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 20,00 kN/m$^3$ |

**Q1 al p**

| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 35,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 0,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 20,00 kN/m$^3$ |

**n-1**

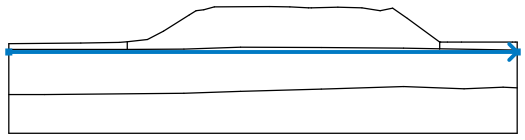
| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 23,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 10,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 20,00 kN/m$^3$ |

**n**

| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 23,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 10,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 20,00 kN/m$^3$ |

### Water

Water type : GWT

| No. | GWT location | Coordinates of GWT points [m] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | x | z | x | z | x | z |
| 1 |  | 0,00 | 9,00 | 60,00 | 9,00 | | |

## Input data (Stage of construction 2)

## Results (Stage of construction 2)

### Analysis 1 (stage 2)

**Circular slip surface**



[GeoStructural Analysis - Slope Stability | version 5.19.5.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

| Slip surface parameters | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Center : | x = | 16,41 | [m] | Angles : | $\alpha_1$ = | -10,65 | [°] |
| | z = | 20,95 | [m] | | $\alpha_2$ = | 53,02 | [°] |
| Radius : | R = | 10,74 | [m] | | | | |
| The slip surface after optimization. | | | | | | | |

**Slope stability verification (Bishop)**
Sum of active forces : $F_a$ = 195,34 kN/m
Sum of passive forces : $F_p$ = 306,91 kN/m

Sliding moment : $M_a$ = 2097,92 kNm/m
Resisting moment : $M_p$ = 3296,21 kNm/m
Factor of safety = 1,57 > 1,40
**Slope stability ACCEPTABLE**

## Analysis 2 (stage 2)

**Circular slip surface**

| Slip surface parameters | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Center : | x = | 16,41 | [m] | Angles : | $\alpha_1$ = | -10,65 | [°] |
| | z = | 20,95 | [m] | | $\alpha_2$ = | 53,02 | [°] |
| Radius : | R = | 10,74 | [m] | | | | |
| The slip surface after optimization. | | | | | | | |

**Slope stability verification (Morgenstern-Price)**
Factor of safety = 1,57 > 1,40
**Slope stability ACCEPTABLE**



[GeoStructural Analysis - Slope Stability | version 5.19.5.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

# Slope stability analysis

## Input data

### Project

Task : Geotehnicki elaborat za Idejni projekat za izgradnju zeleznicke pruge Beograd-Subotica
Part : Deonica Novi Sad - Subotica, km 79+550 usek H=4.5m 1:1.5
Date : 23.1.2019.

### Soil parameters

**Q1 al p,pr**

| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 32,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 0,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 20,00 kN/m$^3$ |

**Q1 al p**

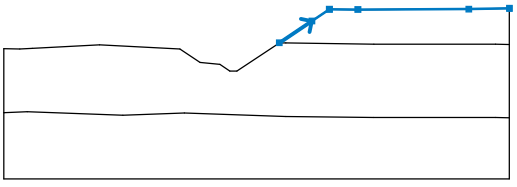
| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 35,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 0,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 20,00 kN/m$^3$ |

**Q1 al pr**

| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 20,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 19,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 10,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 21,00 kN/m$^3$ |

### Water

Water type : GWT

| No. | GWT location | Coordinates of GWT points [m] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | x | z | x | z | x | z |
| 1 |  | 0,00 | 9,58 | 11,84 | 9,59 | 17,19 | 7,83 |
| | | 22,84 | 10,13 | 37,84 | 10,19 | | |

## Results (Stage of construction 1)

### Analysis 1

**Circular slip surface**

| Slip surface parameters | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Center : | x = | 18,40 | [m] | Angles : | $\alpha_1$ = | -11,81 | [°] |
| | z = | 14,97 | [m] | | $\alpha_2$ = | 70,79 | [°] |
| Radius : | R = | 7,09 | [m] | | | | |
| The slip surface after optimization. | | | | | | | |

**Slope stability verification (Bishop)**

Sum of active forces : $F_a$ = 107,51 kN/m
Sum of passive forces : $F_p$ = 125,74 kN/m



[GeoStructural Analysis - Slope Stability | version 5.19.5.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

Sliding moment : $M_a$ = 762,25 kNm/m
Resisting moment : $M_p$ = 891,53 kNm/m
Factor of safety = 1,17 < 1,40
**Slope stability NOT ACCEPTABLE**

## Analysis 2

**Circular slip surface**

| Slip surface parameters | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Center : | x = | 18,25 | [m] | Angles : | $\alpha_1$ = | -9,74 | [°] |
| | z = | 15,55 | [m] | | $\alpha_2$ = | 67,54 | [°] |
| Radius : | R = | 7,63 | [m] | | | | |
| The slip surface after optimization. | | | | | | | |

**Slope stability verification (Morgenstern-Price)**
Factor of safety = 1,19 < 1,40
**Slope stability NOT ACCEPTABLE**



[GeoStructural Analysis - Slope Stability | version 5.19.5.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

# Slope stability analysis

## Input data

### Project

Task : Geotehnicki elaborat za Idejni projekat za izgradnju zeleznicke pruge Beograd-Subotica
Part : Deonica Novi Sad - Subotica, km 101+950 nasip H=8.5m 1:3; 1:2; 1:1.5
Date : 23.1.2019.

### Soil parameters

**Q1 al p,pr**

| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 33,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 0,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 20,00 kN/m$^3$ |

**Q1 al p**

| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 35,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 0,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 20,00 kN/m$^3$ |

**Q1 al pr**

| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 20,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 19,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 15,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 21,00 kN/m$^3$ |

**n-1**

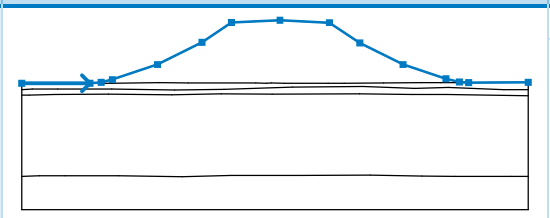
| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 36,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 1,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 20,00 kN/m$^3$ |

**n**

| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 36,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 1,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 20,00 kN/m$^3$ |

### Water

Water type : GWT

| No. | GWT location | Coordinates of GWT points [m] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | x | z | x | z | x | z |
| 1 |  | 0,00 | -9,80 | 70,00 | -9,80 | | |



[GeoStructural Analysis - Slope Stability | version 5.19.5.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

# Results (Stage of construction 1)

## Analysis 1

### Circular slip surface

| Slip surface parameters | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Center : | x = | 55,65 | [m] | Angles : | $\alpha_1$ = | -43,23 | [°] |
| | z = | 16,06 | [m] | | $\alpha_2$ = | -7,73 | [°] |
| Radius : | R = | 22,36 | [m] | | | | |
| The slip surface after optimization. | | | | | | | |

### Segments restricting slip surface

| No. | First point | | Second point | |
|---|---|---|---|---|
| | x [m] | z [m] | x [m] | z [m] |
| 1 | 42,55 | -0,46 | 46,40 | -3,05 |
| 2 | 46,65 | -3,16 | 52,36 | -6,05 |

### The restrictions of points of circular slip surface

### Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a$ = 152,97 kN/m
Sum of passive forces : $F_p$ = 216,83 kN/m

Sliding moment : $M_a$ = 3420,45 kNm/m
Resisting moment : $M_p$ = 4848,32 kNm/m
Factor of safety = 1,42 > 1,40
**Slope stability ACCEPTABLE**

## Analysis 2

### Circular slip surface

| Slip surface parameters | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Center : | x = | 55,85 | [m] | Angles : | $\alpha_1$ = | -42,74 | [°] |
| | z = | 16,62 | [m] | | $\alpha_2$ = | -8,05 | [°] |
| Radius : | R = | 22,94 | [m] | | | | |
| The slip surface after optimization. | | | | | | | |

### Slope stability verification (Morgenstern-Price)

Factor of safety = 1,42 > 1,40
**Slope stability ACCEPTABLE**



[GeoStructural Analysis - Slope Stability | version 5.19.5.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

# Analysis of consolidation

## Input data

### Project

Task : Geotehnicki elaborat za Idejni projekat za izgradnju zeleznicke pruge Beograd-Subotica
Part : Deonica Novi Sad - Subotica, km 81+975 nasip H=8.5m
Date : 18.1.2019.

### Soil parameters

**Q1 al pr**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 20,00 kN/m$^3$ |
| Oedometric modulus : | $E_{oed}$ | = | 7,00 MPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 21,00 kN/m$^3$ |
| Soil : | consolidating, input k | | |
| Coefficient of permeability : | k | = | 7,000E-03 m/day |

**Q1 al p,pr**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Oedometric modulus : | $E_{oed}$ | = | 15,00 MPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 20,00 kN/m$^3$ |
| Soil : | consolidating, input k | | |
| Coefficient of permeability : | k | = | 7,300E-01 m/day |

**Q1 al p**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Oedometric modulus : | $E_{oed}$ | = | 20,00 MPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 20,00 kN/m$^3$ |
| Soil : | consolidating, input k | | |
| Coefficient of permeability : | k | = | 9,500E-01 m/day |

**n-1**

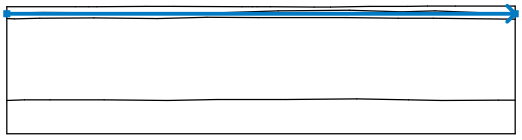
| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Oedometric modulus : | $E_{oed}$ | = | 25,00 MPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 21,00 kN/m$^3$ |
| Soil : | does not consolidate | | |

**n**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Oedometric modulus : | $E_{oed}$ | = | 25,00 MPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 21,00 kN/m$^3$ |
| Soil : | consolidating, input k | | |
| Coefficient of permeability : | k | = | 8,600E-01 m/day |

### Water

Water type : GWT

| No. | GWT location | Coordinates of GWT points [m] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | x | z | x | z | x | z |
| 1 |  | 0,00 | 23,00 | 70,00 | 23,00 | | |

### Consolidation parameters

Top interface of consolidated soil : Interface No. 1
Bottom interface of consolidated soil : Interface No. 4



[GeoStructural Analysis - Settlement | version 5.19.4.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

Water outflow : Both downwards and upwards

## Results (Stage of construction 1)

### Results

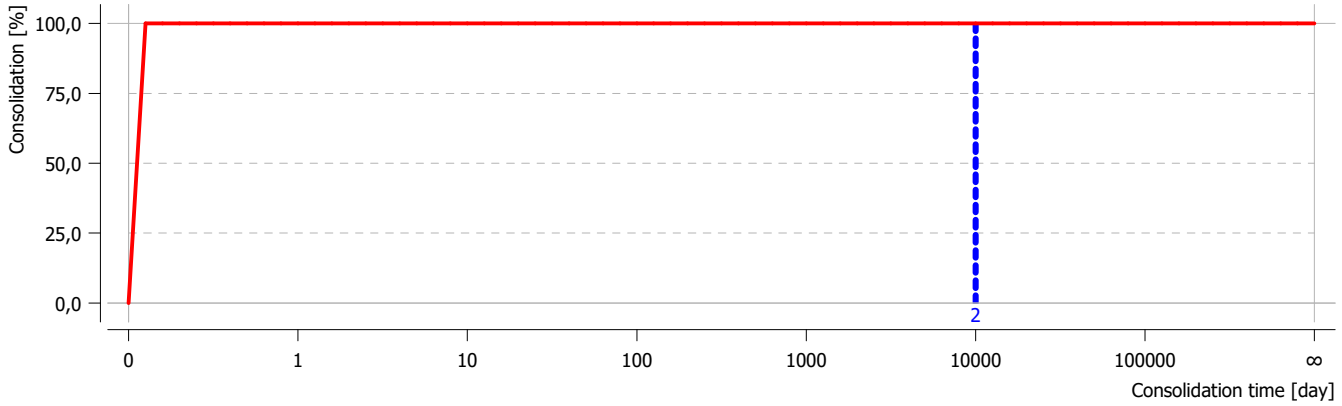
**Analysis of geostatic stress was successfully completed**

## Results (Stage of construction 2)

### Results

**Analysis performed, method Analysis using oedometric modulus**
Maximum settlement = 304,8 mm
Maximum depth of influence zone = 54,55 m

**Graph of consolidation**




Graph of consolidation in the location of maximum settlement (X = 36,28 m)



[GeoStructural Analysis - Settlement | version 5.19.4.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

# Slope stability analysis

## Input data

### Project

Task : Geotehnicki elaborat za Idejni projekat za izgradnju zeleznicke pruge Beograd-Subotica
Part : Deonica Novi Sad - Subotica, poprecne veze nasip H=8m 1:1.5; 1:1.75
Date : 25.1.2019.

### Soil parameters

**n-1**

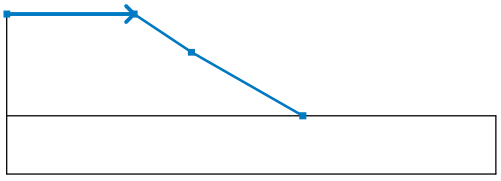
| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 36,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 1,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 20,00 kN/m$^3$ |

**Q1 al pr,m**

| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 20,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 20,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 15,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 21,00 kN/m$^3$ |

### Water

Water type : GWT

| No. | GWT location | Coordinates of GWT points [m] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | x | z | x | z | x | z |
| 1 |  | 0,00 | 9,98 | 23,25 | 9,98 | 38,42 | 9,98 |

## Results (Stage of construction 1)

### Analysis 1

**Circular slip surface**

| Slip surface parameters | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Center : | x = | 29,65 | [m] | Angles : | $\alpha_1$ = | -46,37 | [°] |
| | z = | 37,39 | [m] | | $\alpha_2$ = | -13,26 | [°] |
| Radius : | R = | 28,13 | [m] | | | | |
| The slip surface after optimization. | | | | | | | |

**Slope stability verification (Bishop)**

Sum of active forces : $F_a$ = 127,10 kN/m
Sum of passive forces : $F_p$ = 179,06 kN/m

Sliding moment : $M_a$ = 3575,26 kNm/m
Resisting moment : $M_p$ = 5036,83 kNm/m
Factor of safety = 1,41 > 1,40
**Slope stability ACCEPTABLE**

### Analysis 2

**Circular slip surface**



[GeoStructural Analysis - Slope Stability | version 5.19.5.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

| Slip surface parameters | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Center : | x = | 29,59 | [m] | Angles : | $\alpha_1$ = | -46,38 | [°] |
| | z = | 37,35 | [m] | | $\alpha_2$ = | -13,14 | [°] |
| Radius : | R = | 28,08 | [m] | | | | |
| The slip surface after optimization. | | | | | | | |

**Slope stability verification (Morgenstern-Price)**
Factor of safety = 1,41 > 1,40
**Slope stability ACCEPTABLE**



[GeoStructural Analysis - Slope Stability | version 5.19.5.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

# Slope stability analysis

## Input data

### Project

Task : Geotehnicki elaborat za Idejni projekat za izgradnju zeleznicke pruge Beograd-Subotica
Part : Deonica Novi Sad - Subotica, poprecne veze nasip H=8m 1:1.5; 1:1.75
Date : 25.1.2019.

### Soil parameters

**n-1**

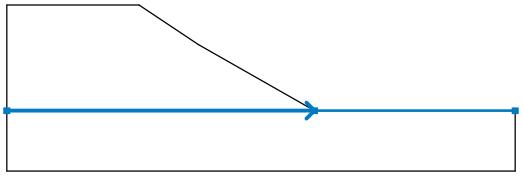
| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 23,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 10,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 20,00 kN/m$^3$ |

**Q1 al pr,m**

| | | |
|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ = | 20,00 kN/m$^3$ |
| Stress-state : | | effective |
| Angle of internal friction : | $\varphi_{ef}$ = | 20,00 ° |
| Cohesion of soil : | $c_{ef}$ = | 15,00 kPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ = | 21,00 kN/m$^3$ |

### Water

Water type : GWT

| No. | GWT location | Coordinates of GWT points [m] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | x | z | x | z | x | z |
| 1 |  | 0,00 | 9,98 | 23,25 | 9,98 | 38,42 | 9,98 |

## Results (Stage of construction 1)

### Analysis 1

**Circular slip surface**

| Slip surface parameters | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Center : | x = | 21,60 | [m] | Angles : | $\alpha_1$ = | -58,39 | [°] |
| | z = | 26,79 | [m] | | $\alpha_2$ = | 5,22 | [°] |
| Radius : | R = | 16,81 | [m] | | | | |
| The slip surface after optimization. | | | | | | | |

**Slope stability verification (Bishop)**

Sum of active forces : $F_a$ = 320,52 kN/m
Sum of passive forces : $F_p$ = 481,78 kN/m

Sliding moment : $M_a$ = 5388,00 kNm/m
Resisting moment : $M_p$ = 8098,67 kNm/m
Factor of safety = 1,50 > 1,40
**Slope stability ACCEPTABLE**

### Analysis 2

**Circular slip surface**



[GeoStructural Analysis - Slope Stability | version 5.19.5.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

| Slip surface parameters | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Center : | x = | 21,49 | [m] | Angles : | $\alpha_1$ = | -60,15 | [°] |
| | z = | 25,91 | [m] | | $\alpha_2$ = | 5,82 | [°] |
| Radius : | R = | 15,93 | [m] | | | | |
| The slip surface after optimization. | | | | | | | |

**Slope stability verification (Morgenstern-Price)**
Factor of safety = 1,50 > 1,40
**Slope stability ACCEPTABLE**



[GeoStructural Analysis - Slope Stability | version 5.19.5.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

# Analysis of consolidation

## Input data

### Project

Task : Geotehnicki elaborat za Idejni projekat za izgradnju zeleznicke pruge Beograd-Subotica
Part : Deonica Novi Sad - Subotica, km 81+975 nasip H=8.5m
Date : 18.1.2019.

### Soil parameters

**Q1 al pr**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 20,00 kN/m$^3$ |
| Oedometric modulus : | $E_{oed}$ | = | 7,00 MPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 21,00 kN/m$^3$ |
| Soil : | consolidating, input k | | |
| Coefficient of permeability : | k | = | 7,000E-03 m/day |

**Q1 al p,pr**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Oedometric modulus : | $E_{oed}$ | = | 15,00 MPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 20,00 kN/m$^3$ |
| Soil : | consolidating, input k | | |
| Coefficient of permeability : | k | = | 7,300E-01 m/day |

**Q1 al p**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Oedometric modulus : | $E_{oed}$ | = | 20,00 MPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 20,00 kN/m$^3$ |
| Soil : | consolidating, input k | | |
| Coefficient of permeability : | k | = | 9,500E-01 m/day |

**n-1**

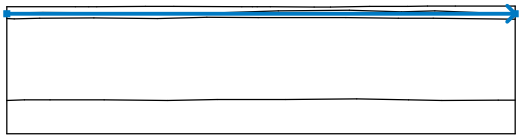
| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Oedometric modulus : | $E_{oed}$ | = | 25,00 MPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 21,00 kN/m$^3$ |
| Soil : | does not consolidate | | |

**n**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Unit weight : | $\gamma$ | = | 19,00 kN/m$^3$ |
| Oedometric modulus : | $E_{oed}$ | = | 25,00 MPa |
| Saturated unit weight : | $\gamma_{sat}$ | = | 21,00 kN/m$^3$ |
| Soil : | consolidating, input k | | |
| Coefficient of permeability : | k | = | 8,600E-01 m/day |

### Water

Water type : GWT

| No. | GWT location | Coordinates of GWT points [m] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | x | z | x | z | x | z |
| 1 |  | 0,00 | 23,00 | 70,00 | 23,00 | | |

### Consolidation parameters

Top interface of consolidated soil : Interface No. 1
Bottom interface of consolidated soil : Interface No. 4



[GeoStructural Analysis - Settlement | version 5.19.4.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

Water outflow : Both downwards and upwards

## Results (Stage of construction 1)

### Results

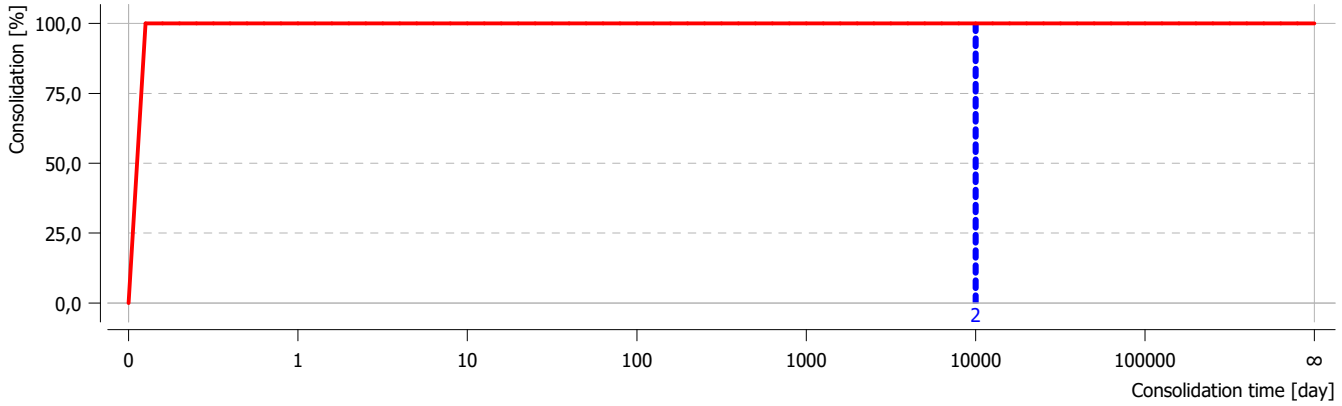
**Analysis of geostatic stress was successfully completed**

## Results (Stage of construction 2)

### Results

**Analysis performed, method Analysis using oedometric modulus**
Maximum settlement = 304,8 mm
Maximum depth of influence zone = 54,55 m

**Graph of consolidation**




Graph of consolidation in the location of maximum settlement (X = 36,28 m)



[GeoStructural Analysis - Settlement | version 5.19.4.0 | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.eu]

**Projekat:** Pruga NS-Supotica Idejni projekat

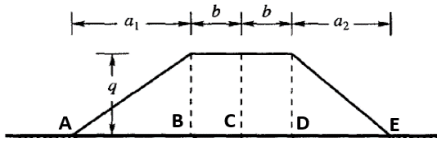
**Objekat:** Deonica - zona Subotica

## Proračun prognoznog sleganja tla ispod nasipa

Napomena:

**Podaci o nasipu**

| Visina nasipa h (m) | Dimenzije nasipa a1 (m) | a2 (m) | 2×b (m) | Zaprem. težina γ (kN/m3) | Napon od nasipa q= γ×h |
|---|---|---|---|---|---|
| 8.0 | 13.3 | 13.3 | 7.0 | 20.0 | 160.0 |



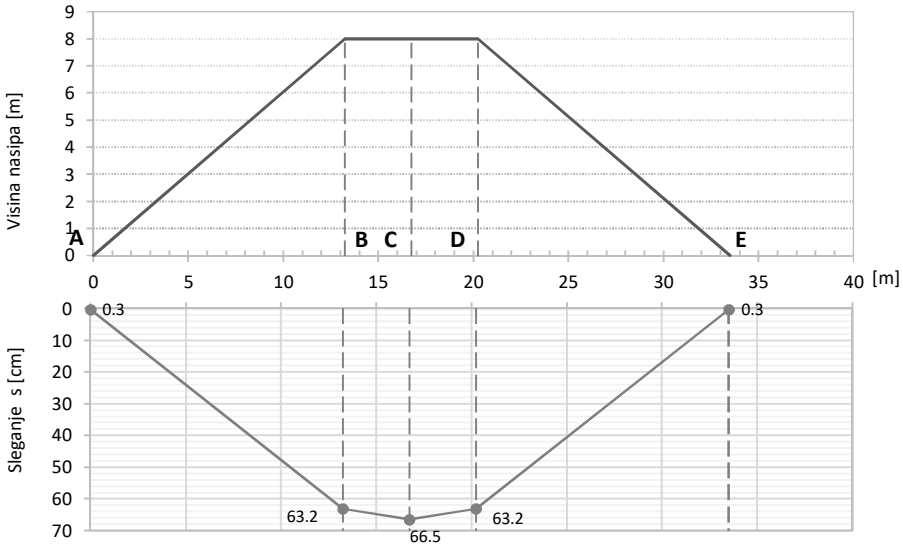

**Podaci o tlu i proračun sleganja**

| | | | | | | | | Tačka [A] | | Tačka [B] | | Tačka [C] | | Tačka [D] | | Tačka [E] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sloj** | **Dubina (m)** | **Debljina H (m)** | **z (m)** | **γ (kN/m³)** | **Mv (kPa)** | **$k_f$ [cm/s]** | **σz (kPa)** | **Δσz [A] (kPa)** | **s [A] (cm)** | **Δσz [B] (kPa)** | **s [B] (cm)** | **Δσz [C] (kPa)** | **s [C] (cm)** | **Δσz [D] (kPa)** | **s [D] (cm)** | **Δσz [E] (kPa)** | **s [E] (cm)** |
| **Nasip** | 0.0 | - | 0.0 | 20.0 | - | - | 0.0 | 0.0 | - | 160.0 | - | 160.0 | - | 160.0 | - | 0.0 | - |
| 1 | 3.0 | 3.00 | 1.50 | 19.0 | 5000 | 1.0E-03 | 28.5 | 5.7 | **0.3** | 154.2 | **9.3** | 159.4 | **9.6** | 154.2 | **9.3** | 5.7 | **0.3** |
| 2 | 6.3 | 3.30 | 4.65 | 20.0 | 5500 | 1.0E-05 | 90.0 | 17.0 | - | 141.0 | **8.5** | 150.0 | **9.0** | 141.0 | **8.5** | 17.0 | - |
| 3 | 11.5 | 5.20 | 8.90 | 20.0 | 2500 | 1.0E-06 | 175.0 | 28.9 | - | 122.0 | **25.4** | 129.3 | **26.9** | 122.0 | **25.4** | 28.9 | - |
| 4 | 17.0 | 5.50 | 14.25 | 20.0 | 3000 | 1.0E-06 | 282.0 | 37.8 | - | 100.4 | **18.4** | 105.0 | **19.3** | 100.4 | **18.4** | 37.8 | - |
| 5 | 20.0 | 3.00 | 18.50 | 19.0 | 15000 | 1.0E-04 | 365.5 | 41.0 | - | 86.6 | **1.7** | 89.7 | **1.8** | 86.6 | **1.7** | 41.0 | - |
| 6 | 30.0 | 10.00 | 25.00 | 19.0 | 15000 | 1.0E-04 | 489.0 | 41.9 | - | 70.5 | - | 72.3 | - | 70.5 | - | 41.9 | - |
| 7 | 40.0 | 10.00 | 35.00 | 19.0 | 15000 | 1.0E-04 | 679.0 | 39.1 | - | 53.9 | - | 54.8 | - | 53.9 | - | 39.1 | - |
| | | | | | | | | | - | | - | | - | | - | | - |
| | | | | | | | | | - | | - | | - | | - | | - |
| | | | | | | | | | - | | - | | - | | - | | - |
| | | | | | | | Ukupno sleganje ispod tačke: | | **0.3** | | **63.2** | | **66.5** | | **63.2** | | **0.3** |

Uslov dubine sleganja za odnos dopunskog i geostatičkog napona:

Δσ/σz > 20% ( 0.1-0.2 )

### Skica nasipa sa dijagramom sleganja




### Vremenski tok konsolidacije

| U [%] | T | t [mes] | s [cm] |
|---|---|---|---|
| 5 | 0.002 | 0.0 | **3.3** |
| 10 | 0.008 | 0.0 | **6.7** |
| 15 | 0.018 | 0.1 | **10.0** |
| 20 | 0.031 | 0.2 | **13.3** |
| 25 | 0.049 | 0.3 | **16.6** |
| 30 | 0.071 | 0.4 | **20.0** |
| 35 | 0.096 | 0.5 | **23.3** |
| 40 | 0.126 | 0.7 | **26.6** |
| 45 | 0.159 | 0.9 | **29.9** |
| 50 | 0.196 | 1.1 | **33.3** |
| 55 | 0.238 | 1.3 | **36.6** |
| 60 | 0.286 | 1.5 | **39.9** |
| 65 | 0.340 | 1.8 | **43.2** |
| 70 | 0.403 | 2.2 | **46.6** |
| 75 | 0.477 | 2.6 | **49.9** |
| 80 | 0.567 | 3.1 | **53.2** |
| 85 | 0.684 | 3.7 | **56.5** |
| 90 | 0.848 | 4.6 | **59.9** |
| 95 | 1.129 | 6.1 | **63.2** |

**Komentar:**

Ukupno sleganje nasipa ispod središnje tačke C iznosi 66.5 cm.

50 % sleganja tla ispod nasipa će se obaviti za 1.1 mes., a 90 % za 4.6 mes.